МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

Е. М. ФАТЕЕВ

КАК СДЕЛАТЬ САМОМУ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

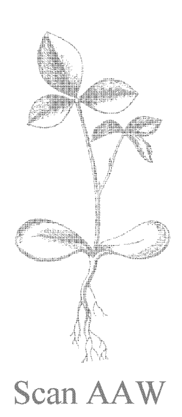
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 24

Е. М. ФАТЕЕВ

доктор технических наук

КАК СДЕЛАТЬ САМОМУ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Маломощные ветроэлектрические установки представляют большой интерес для районов, еще недостаточно электрифицированных или удаленных от промышленных центров.

Ветроэлектроустановки малой мощности до 100 *вт* настолько просты, что их можно легко изготовлять своими силами. Эксплоатация таких агрегатов также проста и не требует затраты средств на горючее. Стоимость киловаттчаса ветроэлектрических агрегатов в районах со среднегодовыми скоростями ветра выше 5 *м/сек* оказывается ниже тарифа местных электростанций.

Надо сказать, что ветровой режим района является основным условием, определяющим экономическую целесообразность эксплоатации ветроэлектрических установок. Поэтому, прежде чем приступить к рассмотрению конструкций ветроэлектрических агрегатов и способа их изготовления, необходимо познакомиться с основными характеристиками ветра как источника энергии. Кроме того, чтобы понять особенности ветродвигателя, преобразующего энергию ветра в механическую работу, необходимо также познакомиться хотя бы с элементарными основами аэродинамики ветродвигателей. Это поможет правильно построить крылья ветроколеса, которые являются главной частью ветроэлектрического агрегата.

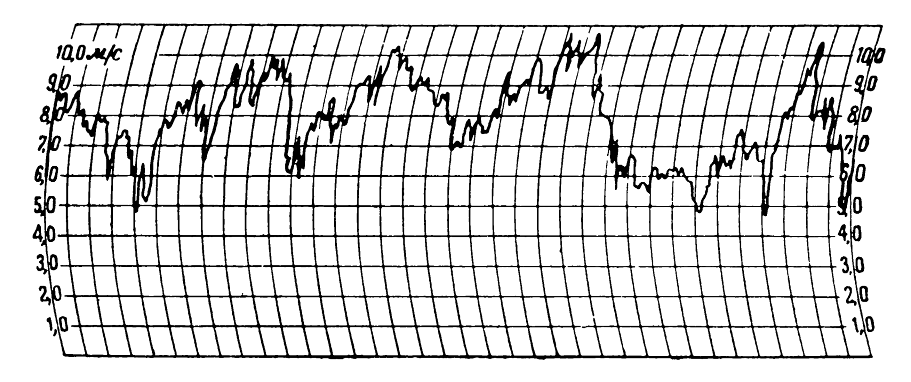
I. ВЕТЕР

1. Происхождение ветра. Ветром называют движение окружающего земной шар воздуха. Мы настолько свыклись с этим явлением, что у нас и не появляется вопроса: как и почему возникает ветер? Однако, для более ясного представления об этой силе природы следует знать и причины, ее порождающие.

Если мы откроем немного дверь теплой комнаты, находящейся рядом с холодным помещением, то сейчас же наши ноги ощутят холод, между тем как на уровне лица этого ощущения не будет. Это происходит оттого, что теплый воздух, будучи легче, чем холодный, стремится занимать верхнюю часть помещения, а холодный — нижнюю. Воздух из холодного помещения устремляется в теплую комнату и как более тяжелый распространяется понизу, вытесняя из нее теплый воздух, который в свою очередь под действием холодного вытесняется из теплой комнаты через верхнюю часть открытой двери. В этом можно легко убедиться, поднося зажженную свечу к щели приоткрытой двери: сначала внизу, потом в средине и, наконец, вверху. Внизу пламя свечи наклонится внутрь теплой комнаты, в средине будет стоять вертикально, а вверху направлено в сторону холодного помещения. Отклонение пламени свечи указывает направление движения воздуха между помещениями с разными температурами.

Аналогичное явление происходит с воздухом земной атмосферы. Солнце нагревает землю не везде одинаково. На экваторе солнечные лучи падают на землю вертикально и нагревают ее поверхность наиболее сильно, ближе к полюсам лучи солнца падают наклонно и греют слабее, а на полюсах солнце греет землю совсем слабо. Соответственно нагреву поверхности земли нагревается и воздух, расположенный над ней. Таким образом, воздух на поверхности земли имеет разные температуры, а следовательно, разные давления и вес. Атмосферный воздух устремляется из холодных пространств

в теплые, т. е. от полюсов к экватору, вытесняет нагретый, который направляется в верхние слои атмосферы. На высоте нескольких километров нагретый воздух, разделившись на два потока, направляется к полюсам. По мере приближения к ним он охлаждается и опускается ближе к поверхности земли. На полюсах он совершенно охлаждается и направляется обратно к экватору. Такое явление происходит постоянно, создавая циркуляцию атмосферы над поверхностью земли.



Фиг. 1. Характеристика скорости ветра.

Постоянное движение воздуха с юга и севера к экватору называется п а с с а т о м. Вследствие вращения земли с запада на восток пассат движется к экватору с севера — в северо-восточном направлении, а с юга — в юго-восточном.

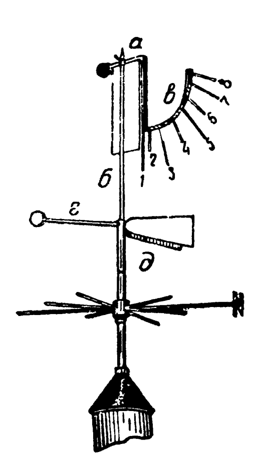
В северной и южной частях земного шара наблюдаются местные ветры с переменным направлением. Эти ветры вызываются тем, что по мере удаления от тропиков к полюсам чередование времен года — зимы, весны, лета и осени, а также присутствие морей, гор и т. п. делают температуру атмосферного воздуха крайне непостоянной, а следовательно, непостоянным направление и скорость движения воздушных потоков.

2. Скорость ветра и как ее измерить. Основной величиной, характеризующей силу ветра, является его скорость. Величина скорости ветра определяется расстоянием **в метрах,** проходимым им в течение 1 сек. Например, если за **20 сек.**

ветер прошел расстояние 160 *м*, то его скорость v за данный промежуток времени была равна:

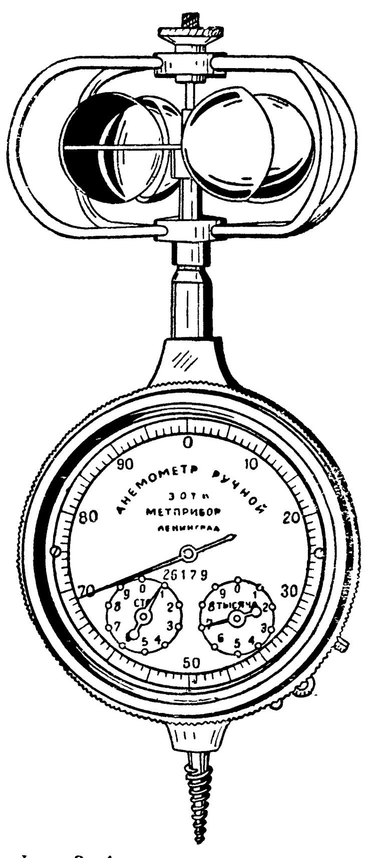
$$v = \frac{160}{20} = 8 \text{ м/сек.}$$

Скорость ветра отличается большим непостоянством: она изменяется не только за продолжительное время, но и за ко-



Фиг. 2. Простейший флюгер-анемометр.

роткие промежутки времени (в течение часа, минуты и даже секунды) на большую величину. На фиг. 1 дана кривая, показывающая изменение скорости ветра в течение 6 мин. Из этой кривой можно заключить, что ветер движется с пульсирующей скоростью.



Фиг. 3. Анемометр завода „Метрприбор“.

Скорости ветра, наблюдаемые за короткие промежутки времени—от нескольких секунд до 5 мин, называют мгновенными или действительными. Скорости же ветра, полученные как средние арифметические из мгновенных скоростей, называют средними скоростями ветра. Если сложить замеренные скорости ветра в течение суток и разделить на число замеров, то получится среднесуточная скорость ветра.

Если же сложить среднесуточные скорости ветра за весь месяц и разделить эту сумму на число дней месяца, то получим среднемесячную скорость ветра. Сложив среднемесячные скорости и разделив сумму на двенадцать месяцев, получим среднегодовую скорость ветра.

Скорости ветра замеряют с помощью приборов, называемых анемометрами.

Простейший анемометр, позволяющий определять мгновенные скорости ветра и называемый простейшим флюгером-анемометром, показан на фиг. 2. Он состоит из металлической доски, качающейся около горизонтальной оси *а*, закрепленной на вертикальной стойке *б*. Сбоку доски на той же оси *а* закреплен сектор *в*, с восемью штифтами. На стойке *б* ниже сектора закреплен флюгер *г*, который все время устанавливает доску плоскостью к ветру. При действии последнего доска отклоняется и проходит мимо штифтов, каждый из которых указывает при этом на определенную скорость ветра. Стойка *б* с флюгером *г* поворачивается во втулке *д*, в которой закреплены в горизонтальной плоскости 4 длинных стержня, указывающих главные страны света: север, юг, восток и запад, и между ними 4 коротких, указывающих на северо-восток, северо-запад, юго-восток и юго-запад. Таким образом, с помощью флюгера-анемометра можно определять одновременно и скорость и направление ветра.

Значения скоростей ветра, соответствующих каждому штифту сектора *в*, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Определение скорости ветра по флюгеру-анемометру с доской 150×300 *мм* и весом 200 *г*

№ штифтов	1	1—2	2	2—3	3	3—4	4	4—5	5	5—6	6	6—7	7	7—8	8	8 и выше
Скорость ветра в *м/сек*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20	Свыше 20

Средние скорости ветра за короткие и продолжительные промежутки времени удобно определять анемометром завода «Метрприбор» (фиг. 3). Он состоит из крестовины с полушариями, надетой на ось, которая находится в зацеплении

с зубчатой передачей, помещенной в коробке с циферблатом. Оси шестерен выведены на циферблат и на своих концах имеют стрелки, показывающие на шкале путь, пройденный ветром за данный промежуток времени. Разделив число, показываемое стрелками на циферблате, на число секунд, в течение которых вращался анемометр, получим скорость ветра в секунду за наблюдаемый период. Например, перед началом наблюдения стрелки на циферблате показывали 7 170 *м*, а по истечении 2 мин., равных 120 сек., стрелки показали 7 650 *м*. Следовательно, средняя скорость ветра за промежуток времени в 2 мин. была равна:

$$v = \frac{7\,650 - 7\,170}{120} = \frac{480}{120} = 4 \text{ м/сек}.$$

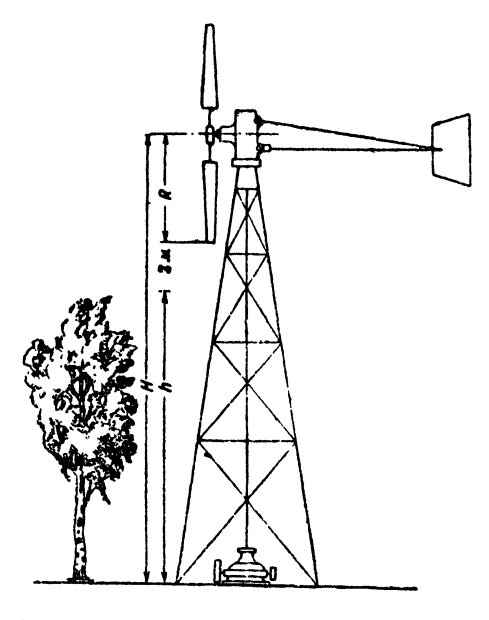
Если нет указанных выше приборов, то скорость ветра можно определить приблизительно по внешним признакам, наблюдаемым в природе (см. табл. 2).

Таблица 2

Скорость ветра по внешним признакам, наблюдаемым в природе

Скорости ветра в *м/сек*	Название ветра	Признаки
0	Штиль	Дым из трубы идет вверх почти вертикально
1,5—3	Очень слабый	Дым из трубы идет с небольшим наклоном. Едва заметно шелестят листья
4—5	Легкий	Ветки качаются
6—7	Умеренный	Сучья гнутся
8—9	Свежий	Верхушки деревьев шумят
10—11	Очень свежий	Тополи и толстые сучья гнутся
12—14	Сильный	Листья и ветки срываются
15—16	Резкий	Тонкие сучья ломаются
17—19	Буря	Толстые сучья ломаются
20—23	Сильная буря	
24—28	Очень сильная буря	Сосны вырываются с корнями
29—33	Ураган	
34—39	Сильный ураган	Опустошительное действие
40 и выше	Очень сильный ураган	

3. Влияние препятствий на скорость и направление ветра. Ветер, проносящийся мимо домов, деревьев, холмов и других препятствий, из прямолинейного движения переходит в беспорядочное. Воздушные струи, непосредственно обтекающие края препятствий, закручиваются в вихревые кольца и уносятся в направлении воздушного потока. На месте унесенных появляются новые вихревые кольца, которые опять уносятся, и т. д. Понятно, что там, где образуются вихри, ветер теряет свою скорость и направление. Вихревое движение ветра, появляясь на гранях препятствия, далеко за ним постепенно затухает и совершенно прекращается на расстоянии приблизительно пятнадцатикратной высоты препятствия. Вообще вихри образуются вследствие трения движущегося воздуха о поверхность земли, постройки, деревья и т. п. Поэтому вблизи поверхности скорость ветра меньше, чем на высоте.



Фиг. 4. На какую высоту необходимо выносить ветроколесо при установке ветродвигателя вблизи препятствий.

Об этом необходимо помнить при выборе места для установки ветродвигателя. Ветроколесо двигателя должно быть вынесено выше препятствий, где поток ветра ничем не нарушается. Вообще ветроколесо должно быть вынесено возможно выше, так как с увеличением высоты увеличивается скорость ветра, а вместе с этим увеличивается и мощность ветродвигателя. Например, при увеличении высоты положения ветроколеса в два раза его мощность увеличится примерно в полтора раза. Однако, при выборе высоты необходимо учитывать удобства обслуживания ветродвигателя при эксплоатации. Минимальная высота башни под ветродвигатель должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы нижний конец крыла

ветроколеса был на 1,5—2 *м* выше ближайшего препятствия, как показано на фиг. 4.

4. Повторяемость ветра. Наблюдения показывают, что скорость ветра все время изменяется, и трудно угадать, сколько часов дует ветер с той или иной скоростью в течение суток или месяца. Нам, однако, нужно знать повторяемость ветра, т. е. сколько часов был ветер со скоростью 3, 4, 5 *м/сек* и т. д. в течение некоторого промежутка времени. Это даст возможность определить, с какой мощностью может работать ветродвигатель и сколько лошадиных сило-часов он выработает за месяц или за год. Еще в 1895 г. М. М. Поморцев установил закономерность повторяемости в зависимости от среднегодовых скоростей ветра. На основании этой закономерности составлена табл. 3 повторяемости разных скоростей ветра в зависимости от среднегодовых скоростей. Например, в районах со среднегодовой скоростью ветра 4 *м/сек* ветер был равен 0 (штиль) 307 час. Это число представляет сумму часов кратковременных штилей и штилей, вообще наблюдавшихся в разное время года; слабый ветер со скоростью 3 *м/сек* дул 1 445 час.; ветер со скоростью 8 *м/сек* дул 315 час. и т. д.

5. Энергия ветра. Всякое движущееся тело обладает энергией движения или кинетической энергией, которая способна производить работу. Ветер, как движущееся тело, также обладает энергией движения, которая может быть использована для работы подобно энергии движущейся воды.

Количество энергии движения равно половине произведения массы движущегося тела m на его скорость в квадрате, т. е.

$$\frac{mv^2}{2}. \tag{1}$$

Количество массы m ветра, набегающего на какую-нибудь поверхность F за 1 сек., определяется произведением массовой плотности воздуха, которая обозначается греческой буквой ρ (ро) на поверхность F, через которую проходит ветер, и на скорость ветра v, т. е.

$$m = \rho F v. \tag{2}$$

Если мы подставим это значение массы m в уравнение (1), то найдем, что энергия ветра равна:

$$\frac{\rho F v^3}{2}. \tag{3}$$

Таблица 3

Повторяемость ветра в часах

Скорости ветра в м/сек	Среднегодовые скорости ветра в м/сек									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2 230	876	500	307	175	87	52	44	18	0
1	3 600	2 020	1 030	630	376	228	149	88	62	18
2	2 190	2 590	1 700	1 070	684	420	262	187	140	70
3	653	2 020	1 990	1 445	1 003	700	462	334	228	180
4	87	873	1 710	1 610	1 310	963	700	492	350	280
5	—	330	1 050	1 445	1 445	1 210	930	685	500	394
6	—	51	525	1 070	1 310	1 320	1 100	876	700	520
7	—	—	193	640	1 050	1 22	1 180	1 030	840	684
8	—	—	62	315	700	1 000	1 120	1 100	960	788
9	—	—	—	152	376	700	963	1 033	1 000	876
10	—	—	—	52	183	438	720	886	960	896
11	—	—	—	26	70	232	500	700	850	876
12	—	—	—	—	52	131	312	516	700	796
13	—	—	—	—	26	52	170	350	520	688
14	—	—	—	—	—	26	70	220	368	520
15	—	—	—	—	—	—	36	115	250	420
16	—	—	—	—	—	—	18	61	157	290
17	—	—	—	—	—	—	16	26	87	193
18	—	—	—	—	—	—	—	17	52	131
19	—	—	—	—	—	—	—	—	18	79
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61

Данное уравнение указывает на очень важное свойство энергии ветра, заключающееся в том, что с возрастанием скорости ветра его энергия увеличивается пропорционально третьей степени скорости ветра, например, если скорость ветра увеличится в два раза, то его энергия увеличится в $2^3=8$ раз, а если скорость ветра увеличится в 3 раза, то его энергия увеличится в $3^3=27$ раз.

Поверхность F, сметаемая крыльями ветроколеса при его вращении, равна произведению 3,14 на диаметр D ветроколеса в квадрате, поделенному на 4, т. е.

$$F=\frac{3,14\cdot D^2}{4}=0,785D^2. \qquad (4)$$

Отсюда видим, что чем больше диаметр ветроколеса, тем больше ометаемое им пространство и тем больше энергии протекает через ветроколесо. Однако, в механическую работу превращается только часть этой энергии. Теорией

доказано, что коэффициент использования энергии ветра для идеального ветряка составляет 0,593=(59,3%) от всей энергии, протекающей через ветроколесо. Практически же хорошее ветроколесо может преобразовать в механическую работу только от 19 до 42% энергии ветра, остальные 82—58% энергии проносятся неиспользованными.

Если коэффициент использования энергии ветра обозначить греческой буквой ξ (кси), то энергия, получаемая в виде полезной работы, может быть представлена как

$$\frac{\rho F V^3}{2} \cdot \xi. \quad (5)$$

Эта энергия затрачивается на приведение в движение рабочих машин, приключаемых к ветродвигателю: поршневой насос, жернов, генератор и т. п. Обычно энергия ветра, затрачиваемая на приведение в движение рабочих машин, измеряется мощностью в лошадиных силах или киловаттах. Одна лошадиная сила (1 *л. с.*) равна работе 75 килограммометров (*кгм*) в 1 сек., что соответствует поднятию 75 *кг* на высоту 1 *м* в течение 1 сек. или 3 *кг* на высоту 25 *м* за то же время. Поэтому, разделив уравнение (5) на 75, мы получим мощность ветродвигателя на крыльях ветроколеса равной:

$$N = \frac{\rho F V^3 \xi}{2 \cdot 75} \text{ л. с.} \quad (6)$$

Так как $F = 0{,}785D^2$, а $\rho = 0{,}125$ при 15°C и давлении атмосферы 760 *мм* рт. ст., то, подставив значения F и ρ в уравнение (6), получим:

$$N = 0{,}000654 D^2 V^3 \xi \text{ л. с.} \quad (7)$$

Так как 1 *квт* равен 1,36 *л. с.*, то мощность ветродвигателя, выраженная в киловаттах, будет равна:

$$N_{кв} = 0{,}000481 D^2 V^3 \xi \text{ квт.} \quad (8)$$

Например, мощность ветродвигателя, имеющего диаметр ветроколеса 5 *м* и работающего с коэффициентом использования энергии ветра $\xi = 0{,}30$, при скорости ветра 8 *м/сек* будет равна:

$$N = 0{,}000654 \cdot 5^2 \cdot 8^3 \cdot 0{,}3 = 2{,}5 \text{ л. с.}$$

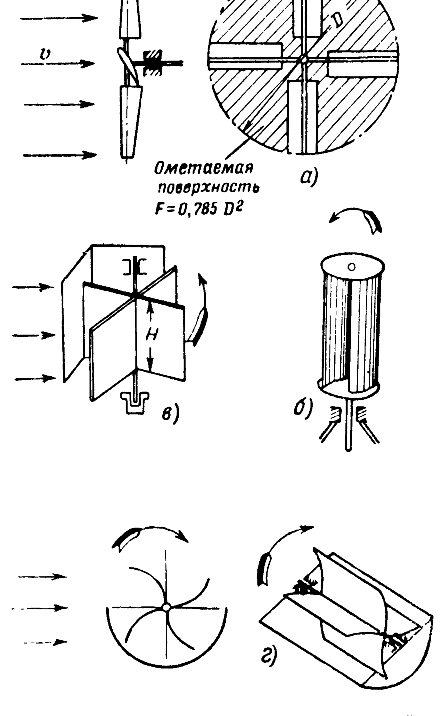
При расчетной скорости ветра 8 *м/сек*, принятой для средней полосы Союза, и при среднем коэффициенте использова-

ния энергии ветра, равном 0,30, мощность (в *л. с.*) ветродвигателя на валу ветроколеса равна диаметру ветроколеса в квадрате, разделенному на 10:

$$N = \frac{D^2}{10} \text{ л. с.} \qquad (9)$$

Например, ветроколесо с диаметром $D = 12$ *м* будет развивать мощность при скорости ветра 8 *м/сек*, равную:

$$N = \frac{12^2}{10} = 14{,}4 \text{ л. с.}$$



Фиг. 5. Системы ветродвигателей.
а — крыльчатые ветродвигатели; *б*) — роторные ветродвигатели; *в* — карусельные ветродвигатели; *г* — барабанные ветродвигатели.

II. ВЕТРОДВИГАТЕЛИ

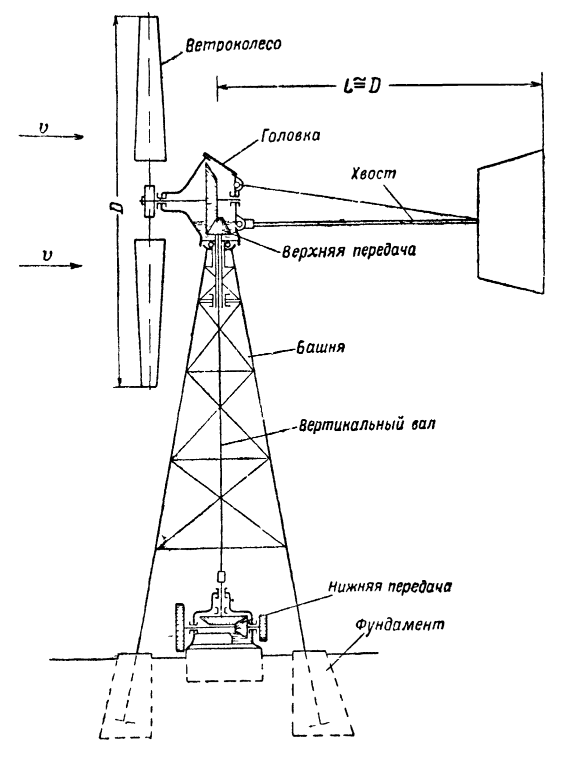
6. Системы ветродвигателей. Ветродвигателями называют двигатели, преобразующие энергию ветра в механическую работу. По устройству ветроколеса и положению его в потоке ветра системы ветродвигателей разделяются на три класса:

1. Крыльчатые ветродвигатели имеют ветроколесо с тем или иным числом крыльев. Плоскость вращения ветроколеса у крыльчатых ветродвигателей перпендикулярна направлению ветра, следовательно, ось вращения параллельна ветру (фиг. 5,*а*). Коэффициент использования энергии ветра этих ветродвигателей достигает $\xi = 0{,}42$.

2. Карусельные и роторные ветродвигатели имеют ветроколесо (ротор) с лопастями, движущимися в направлении ветра; ось вращения ветроколеса занимает вертикальное положение (фиг. 5,*б*). Коэффициент использования энергии ветра этих ветродвигателей равен от 10 до 18%.

3. Барабанные ветродвигатели имеют такую же схему ветроколеса, как и роторные, и отличаются от них лишь

горизонтальным положением ротора, т. е. ось вращения ветроколеса горизонтальна и расположена перпендикулярно потоку ветра (фиг. 5,*г*). Коэффициент использования энергии ветра этих ветряков от 6 до 8%.



Фиг. 6. Ветродвигатель и его основные элементы.

Так как крыльчатые ветродвигатели работают значительно эффективнее карусельных и роторных, то в дальнейшем изложении мы будем говорить только о крыльчатых ветродвигателях.

Крыльчатый ветродвигатель состоит из следующих элементов (фиг. 6):

1. Ветроколесо, которое может иметь от 2 до 24 лопастей. Ветроколеса с числом лопастей от 2 до 4 называются малолопастными; если у ветроколеса более 4 лопастей, то оно называется многолопастным.

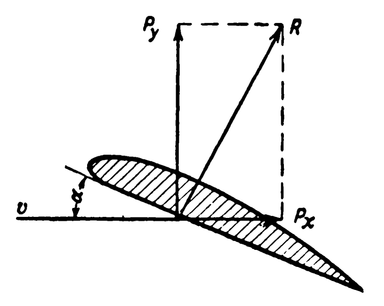
2. Головка ветродвигателя представляет опору, на которой монтируется вал ветроколеса и верхняя передача (редуктор).

3. Хвост крепится к головке и поворачивает ее около вертикальной оси, устанавливая ветроколесо на ветер.

4. Башня ветродвигателя служит для выноса ветроколеса выше препятствий, нарушающих течение воздушного потока. Маломощные ветродвигатели, работающие на генератор, обычно монтируются на столбе или трубе с растяжками.

5. У основания башни вертикальный вал приключается к нижней передаче (редуктору), которая передает движение рабочим машинам.

6. Регулирование оборотов ветроколеса представляет приспособление или механизм, ограничивающий обороты ветроколеса с увеличением скорости ветра.

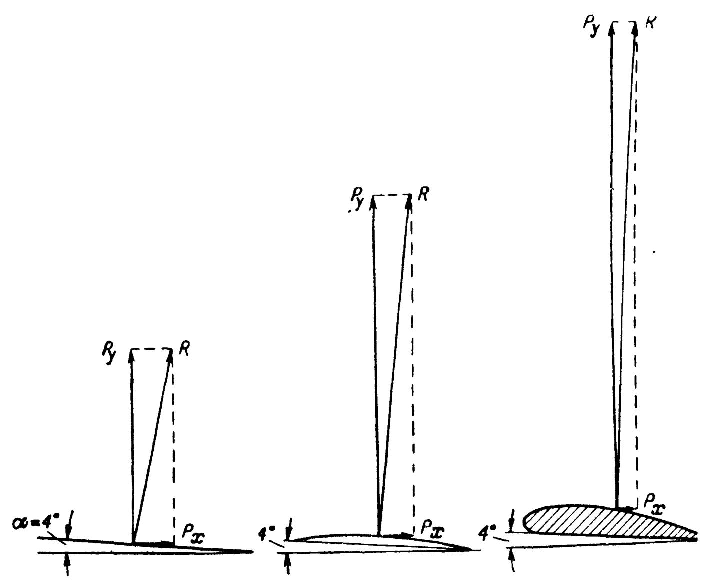


Фиг. 7. Подъемная сила на крыле.

Все эти основные элементы ветродвигателей выполняются поразличному в зависимости от типа ветродвигателя и его назначения. Устройство их описано в книге автора: «Ветродвигатели», Госэнергоиздат, 1946 г.

7. Принцип работы крыльчатых ветродвигателей. Ветроколесо крыльчатого ветродвигателя работает за счет подъемной силы R, возникающей на крыле при набегании на него воздушного потока (фиг. 7). Эта сила аналогична силе, возникающей на крыле самолета при движении его в воздухе под действием винта, вращаемого мотором. Силу R можно разложить на две: силу P_y, перпендикулярную потоку, другую — P_x по потоку. Силу P_y, направленную вверх, называют подъемной силой, а силу P_x, направленную по потоку, называют силой сопротивления. Подъемная сила P_y несет полезную работу, сила же P_x никакой полезной работы не дает, а наоборот, вызывает потери энергии воздушного потока. Поэтому необходимо стремиться получить такое крыло, которое в работе могло бы давать возможно большую подъемную силу P_y и минимальную силу сопротивления P_x. Это соотношение между P_y и P_x будет зависеть от формы крыла и угла наклона α его поверхности к потоку. На фиг. 8 показаны профили крыльев: плоский в виде дужки и обте-

каемый. Для сравнения силы, возникающие на этих крыльях, изображены в одинаковом масштабе. Отсюда видно, что наибольшая подъемная сила P_y и наименьшая сила сопротивления P_x получаются у крыла с обтекаемым профилем. Следовательно, ветродвигатели с таким профилем крыла будут работать наиболее эффективно. Особенно важно делать крылья с таким профилем лопастей у быстроходных ветродвигателей.

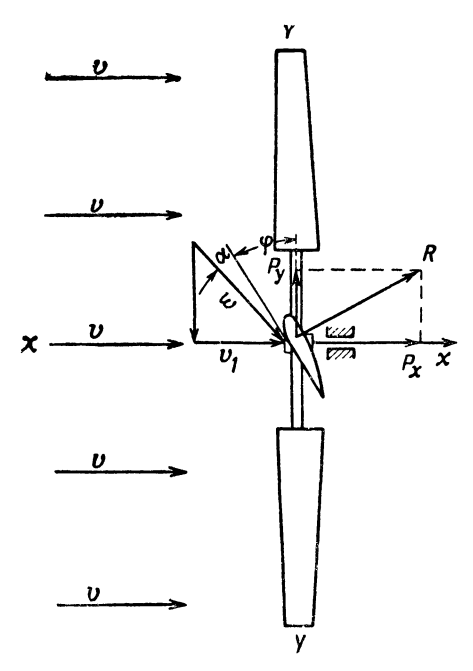


Фиг. 8. Как изменяется величина подъемной силы и силы сопротивления в зависимости от формы профиля крыла.

Рабочее положение крыльчатого ветроколеса в потоке ветра показано на фиг. 9, где линия $X-X$ представляет ось вращения ветроколеса — она совпадает с направлением ветра, обозначенного стрелками v. Линия $Y-Y$ обозначает плоскость вращения ветроколеса. В центре показан торец крыла с обтекаемым профилем. Направление сил, возникающих на крыле, показано стрелками P_y, R, P_x.

Для удобства рассмотрения скоростей и сил, возникающих на крыле, вырежем на его лопасти элемент на расстоянии r от оси вращения ветроколеса и представим сечение на фиг. 10, где φ (фи) обозначает угол заклинения элемента лопасти между его хордой и плоскостью вращения ветроколеса;

α (альфа) — угол атаки относительного воздушного потока W, набегающего на элемент крыла; β (бета) — угол между направлением относительного воздушного потока W и плоскостью вращения ветроколеса; v_1 — скорость ветра при подходе к плоскости вращения ветроколеса; W — скорость относительного потока, набегающего на элемент лопасти при вращении ветроколеса; ωr — окружная скорость элемента крыла; R — сила, возникающая на элементе крыла, которая разлагается



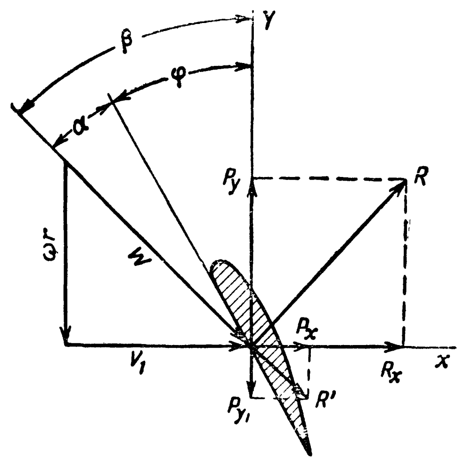
Фиг. 9. Рабочее положение ветроколеса в потоке ветра.

на подъемную силу P_y и силу сопротивления R_x; R' — сила, действующая в направлении относительного потока, которая разлагается на силы сопротивления P_x и $P_{y'}$. Сила P_x увеличивает лобовое давление, а сила $P_{y'}$ действует в плоскости ветроколеса и создает сопротивление его вращению. Это сопротивление будет тем меньше, чем лучше профиль крыла.

Силы P_y, действующие на элемент лопасти в плоскости $Y - Y$, вращают ветроколесо.

При движении крыла в плоскости вращения ветроколеса на его элемент набегает воздушный поток не со скоростью V_1, с которой дует ветер, а со скоростью W, составленной из скорости ветра и скорости ωr, возникающей в плоскости вращения ветроколеса за счет его движения в этой плоскости.

Геометрическое сложение этих двух скоростей дает относительную скорость потока, направленную на крыло под углом α.



Фиг. 10. План скоростей и сил, возникающих на крыле при набегании на него воздушного потока.

Величина этой скорости определяется формулой

$$W = \sqrt{\omega^2 r^2 + v^2}, \quad (10)$$

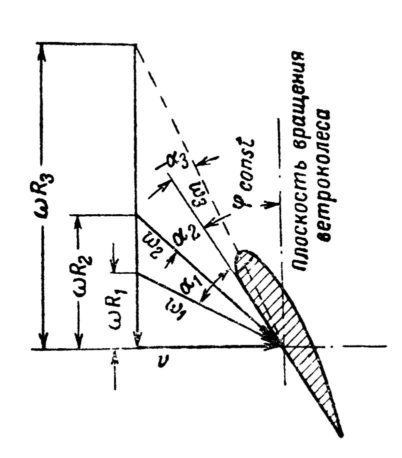
где r — расстояние элемента крыла от оси его вращения.

Из этого равенства видим, что, чем больше радиус r, т. е. чем дальше элемент лопасти расположен от оси вращения ветроколеса, тем больше скорость относительного потока, набегающего на данный элемент лопасти.

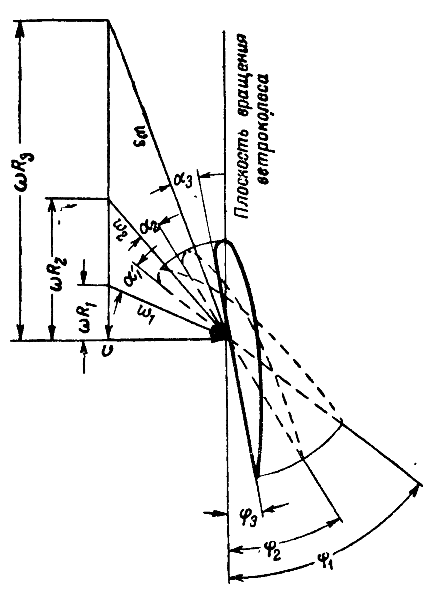
Почему крыло надо делать винтовой формы. Изменение скорости относительного потока по длине крыла обусловливает изменение угла атаки α. Так как скорость относительного потока на конце крыла получается максимальная, то при одинаковом угле заклинения φ угол α_3 на конце лопасти делается минимальным и даже может оказаться отрицательным, а ближе к оси вращения, наоборот, относи-

тельная скорость мала, а угол — α_1 большой (фиг. 11), где показано сечение крыла с постоянным углом φ заклинения для всех элементов, т. е. лопасть имеет плоскую форму.

Теорией и опытом установлено, что сила, действующая в плоскости ветроколеса и вращающая его, получает максимальную величину при определенном угле атаки α. Как правило, максимальная подъемная сила получается при малых углах α от 2 до 6° в зависимости от профиля лопасти. Для других углов сила, вращающая ветроколесо, будет тем меньше, чем больше угол α.



Фиг. 11. План скоростей при набегании воздушного потока на плоское крыло.



Фиг. 12. План скоростей при набегании воздушного потока на винтовое крыло.

Так как угол α изменяется вместе с изменением окружной скорости элементов крыла, то, чтобы получить наивыгоднейшую величину этого угла по всей длине лопасти, надо уменьшать угол φ заклинения каждого сечения лопасти по мере удаления его от оси вращения ветроколеса, т. е. по мере увеличения расстояния r. Лопасть, сделанная с переменным углом φ, приобретает винтообразную форму. В этом случае относительный поток набегает на каждый элемент лопасти примерно с постоянным наивыгоднейшим углом атаки α (фиг. 12).

Окружная скорость ωR на внутреннем конце лопасти меньше, чем эта скорость ωR_3 на внешнем конце, углы же атаки α_1 и α_3 почти одинаковы, что получено за счет увеличения угла φ по мере приближения к внутреннему концу крыла, т. е. φ_1 больше φ_3, где φ_3 — угол на конце лопасти.

В первом случае для прямой лопасти угол $\varphi_1 = \varphi_3$, а α_3 на конце лопасти имеет отрицательное значение, следовательно, при определенных высоких оборотах на конце лопасти будет возникать подъемная сила с обратным направлением, которая будет тормозить вращение ветроколеса.

8. Установ на ветер и регулирование ветродвигателей. При данной скорости ветра ветродвигатель развивает наибольшую мощность, когда плоскость вращения ветроколеса расположена перпендикулярно направлению ветра. Но ветер все время меняет свое направление, следовательно, чтобы получить от него возможно больше работы, необходимо поворачивать ветроколесо на ветер при каждом изменении его направления. Это можно делать либо вручную, либо автоматически с помощью хвоста, действующего как флюгер.

Скорость, а вместе с этим и сила ветра резко изменяются в течение коротких промежутков времени. Следовательно, необходимо приспосабливаться к непостоянству этой энергии и тем или иным способом добиваться получения работы, удовлетворяющей работе приключенной к нему машины. Нельзя допустить, чтобы ветродвигатель развивал неограниченную мощность соответственно скорости ветра, так как в этом случае нельзя установить, на какую же мощность должна быть приключена к ветродвигателю рабочая машина (насос, генератор и т. п.). Например, ветродвигатель с диаметром ветроколеса 3 *м* может развивать при скорости ветра 8 *м/сек* около 1 *л. с.*, а при скорости ветра в 16 *м/сек* около 8 *л. с.* Если к такому ветродвигателю приключить рабочую машину на 8 *л. с.*, то при скоростях ветра ниже 16 *м/сек* он не мог бы работать с этой машиной.

Между тем, согласно табл. 3 ветры со скоростью в 16 *м/сек* дуют всего лишь 18 час. в течение года и то только в тех районах, где среднегодовые скорости ветра 7 *м/сек.* Такая эксплоатация машины нерациональна.

Мощность и обороты ветродвигателя должны быть рассчитаны на ту скорость ветра, при которой ветроагрегат дает максимальную выработку в течение года. Этой скоростью в районах со среднегодовой скоростью ветра от 3 до 5 *м/сек* является скорость ветра 8 *м/сек* и на эти условия принято считать мощность и максимальные обороты ветродвигателя.

Это значит, что мощность и обороты ветродвигателя при скоростях ветра выше 8 *м/сек* должны сохраняться примерно постоянными.

В районах со среднегодовыми скоростями ветра от 6 до 8 *м/сек* мощность и обороты ветродвигателя рассчитывают на скорости ветра от 10 до 12 *м/сек*.

Ветродвигатель очень прост по своему устройству, что мы видим на схеме фиг. 6, усложняют его лишь приспособления, позволяющие ограничивать обороты и мощность ветроколеса при сильных ветрах.

Существует много систем регулирования ветродвигателей, из них наибольшее распространение получили две системы:

1. Выводом ветроколеса из-под ветра под действием его давления на ветроколесо и специальную поверхность, закрепленную сбоку позади ометаемой поверхности. Эта система применяется, главным образом, у многолопастных ветродвигателей, применяемых для водоснабжения.

2. Поворотом лопасти около оси махов под действием центробежных сил. Система этого регулирования применяется у быстроходных ветродвигателей. Принцип работы регулирования мы рассмотрим при описании конструкции ветроэлектрических агрегатов с указанными способами регулирования.

9. Как определить размеры крыльев на заданную мощность. Крылья ветроколеса являются наиболее важной частью ветроэлектрического агрегата. От формы их лопастей зависят мощность и обороты ветродвигателя. Мы не будем останавливаться в этой брошюре на расчете новых крыльев ввиду сложности этой задачи, а воспользуемся готовыми крыльями, имеющими определенную форму и отличающимися высоким коэффициентом использования энергии ветра и большой быстроходностью. Нам необходимо лишь решить вопрос, как определить размеры новых крыльев на желаемую мощность, исходя из размеров известных крыльев при сохранении первоначальной их характеристики.

Примем для маломощных ветроэлектрических агрегатов быстроходное двухлопастное ветроколесо со следующей известной из практики характеристикой:

Число лопастей	2
Коэффициент использования энергии ветра .	0,35
Быстроходность ветроколеса	7,0

Под быстроходностью ветроколеса надо понимать отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветра $\frac{\omega R}{v}$.

Принимая одну и ту же быстроходность, равную 7, для ветроколес разных диаметров, мы будем получать разные обороты ветроколес при одной и той же скорости ветра. Наибольшие обороты будет развивать ветроколесо с наименьшим диаметром. Вообще обороты ветроколес с равными быстроходностями будут относиться друг к другу обратно пропорционально их диаметрам, т. е.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

Это значит ветроколесо с диаметром D_1 будет делать оборотов в минуту во столько раз больше, во сколько диаметр этого ветроколеса D_1 меньше диаметра D_2 другого ветроколеса. Например, если ветроколесо с диаметром 1,5 *м* делает 714 об/мин, то ветроколесо с диаметром 3 *м* будет делать 357 об/мин, т. е. в два раза меньше, хотя быстроходности их одинаковы.

Для удобства подсчета размеров лопастей ветроколес разных диаметров, но с одинаковой быстроходностью в табл. 4 даны размеры двухлопастного ветроколеса с диаметром, равным 1 *м*. Вверху таблицы дан рисунок лопасти с буквенными обозначениями ее размеров, а под рисунком в таблице даются цифровые значения этих размеров.

Слева в 4 графах приведены размеры лопасти к левому рисунку; справа в 10 графах даны размеры пяти профилей этой лопасти. Как проставлять размеры профиля, показано на рисунке таблицы справа.

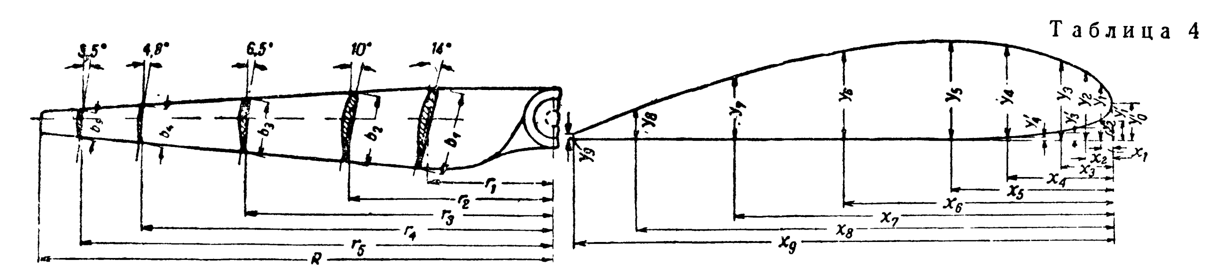
Чтобы соблюсти принятую характеристику ветроколеса с изменением его диаметра, необходимо все размеры данных лопастей изменить в том же отношении, в каком мы изменяем диаметр ветроколеса. При этом у нас будет соблюдено геометрическое подобие, без чего нельзя было бы воспользоваться этим способом пересчета.

Так как ветроколесо с размерами, приведенными в табл. 4, имеет в диаметре 1 *м*, то отношение диаметра другого ветроколеса к единице будет равно *D*, т. е.

$$\frac{D\,м}{1\ м} = D.$$

Следовательно, чтобы получить размеры лопасти ветроколеса с другим диаметром, необходимо каждый размер, приведен-

Таблица 4



Размеры лопасти и ее профилей быстроходного двухлопастного ветроколеса $D=1$ *м*; $Z=7$; $\xi=0{,}35$

№ сечений лопасти	Размеры лопасти: Углы заклинения лопасти φ	Расстояние сечений лопасти от центра ветроколеса r *мм* и $\frac{r}{R}$	Ширина лопасти в данном сечении в *мм*	Толщина лопасти в данном сечении δ *мм*	Обозначения координат профиля	Координаты профиля в *мм*: X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
					X	0	2,08	4,16	8,25	16,50	24,60	40,80	57,50	73,80	82,20
1	14°	125	82,20	15,00	Y	6,10	9,00	10,40	12,00	14,18	15,00	13,66	9,83	4,58	0,50
		0,25			Y'	—	3,42	2,50	1,66	0,83	0,33	—	—	—	—
					X	0	1,83	3,50	7,08	14,10	21,20	35,00	49,20	63,30	70,5
2	10°	200	70,50	12,20	Y	4,90	7,50	8,40	9,65	11,50	12,15	11,65	7,92	3,66	0,41
		0,4			Y'	—	2,75	2,08	1,25	0,5	0,21	—	—	—	—
					X	0	1,33	2,75	5,50	11,00	16,50	27,50	33,40	47,00	55,00
3	6,5°	300	55,00	8,80	Y	3,46	5,42	6,00	7,00	8,33	8,80	8,17	5,50	2,50	0,33
		0,6			Y'	—	1,83	1,33	0,83	0,41	—	—	—	—	—
					X	0	1,00	2,00	4,00	8,00	12,00	20,00	28,00	35,80	40,00
4	4,8°	400	40,00	5,42	Y	1,58	3,16	3,66	4,42	5,08	5,42	4,67	3,30	1,66	0,25
		0,8			Y'	—	1,00	0,67	0,414	—	—	—	—	—	—
					X	0	0,67	1,35	2,7	5,4	8,1	13,5	18,9	24,3	27,00
5	3,5°	475	27,00	2,98	Y	1,0	1,73	2,08	2,50	2,7	2,98	2,36	1,68	0,67	0,17
		0,95			Y'	—	0,54	0,40	0,13	—	—	—	—	—	—

ный в табл. 4, умножить на величину этого диаметра. Неизменными должны оставаться лишь углы заклинения каждого сечения лопасти и число их. Например, для ветроколеса диаметром 1,2 *м* необходимо каждый размер табл. 4 умножить на 1,2, при этом получим:

Расстояние первого сечения лопасти от центра ветроколеса

$$r_1 = 125 \cdot 1{,}2 = 150 \text{ мм}.$$

Расстояние второго сечения лопасти от центра ветроколеса

$$r_2 = 200 \cdot 1{,}2 = 240 \text{ мм и т. д.}$$

Ширина лопасти в первом сечении

$$b_1 = 82{,}2 \cdot 1{,}2 = 98{,}5 \text{ мм}.$$

Ширина лопасти во втором сечении

$$b_2 = 70{,}5 \cdot 1{,}2 = 84{,}5 \text{ мм и т. д.}$$

Расстояние первой ординаты Y_1 от носка профиля:

$$X_1 = 2{,}08 \cdot 1{,}2 = 2{,}5 \text{ мм}.$$

Расстояние второй ординаты Y_2 от носка профиля

$$X_2 = 4{,}16 \cdot 1{,}2 = 5 \text{ мм и т. д.}$$

Высота носка профиля первого сечения лопасти

$$Y_0 = 6{,}10 \cdot 1{,}2 = 7{,}3 \text{ мм}.$$

Первая ордината верхней дужки профиля

$$Y_1 = 9 \cdot 1{,}2 = 10{,}8 \text{ мм}.$$

Вторая ордината верхней дужки профиля

$$Y_2 = 10{,}4 \cdot 1{,}2 = 12{,}5 \text{ мм и т. д.}$$

Первая ордината нижней дужки профиля

$$Y'_1 = 3{,}42 \cdot 1{,}2 = 4{,}1 \text{ и т. д.}$$

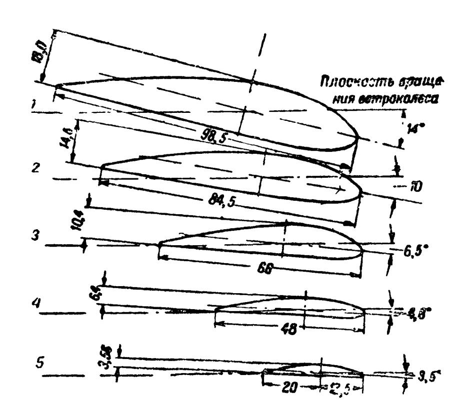
Дальнейший результат подсчета приведен в табл. 5.

Таблица 5

Размеры лопасти и ее профилей быстроходного ветроколеса $D = 1{,}2$ *м*; $Z = 7$; $\xi = 0{,}35$; $l = 2$

	φ	r / $\frac{r}{R}$	в	δ											
					X	0	2,5	5,0	9,9	19,8	29,6	49,0	69,0	88,5	98,8
1	14°	150	98,5	18,0	Y	7,3	10,8	12,5	14,4	17,0	18,0	16,4	11,8	5,5	0,6
		0,25			Y'		4,1	3,0	2,0	1,0	0,4	—	—	—	—
					X	0	2,2	4,2	8,5	16,9	25,4	42,0	59,0	76	84,5
2	10°	240	84,5	14,6	Y	5,9	9,0	10,1	11,7	13,8	14,6	14,0	9,5	4,4	0,5
		0,4			Y'		3,3	2,5	1,5	0,6	0,25	—	—	—	—
					X	0	1,6	3,3	6,6	13,2	19,8	33,0	46,2	56,4	66
3	6,5°	360	66,0	10,6	Y		6,5	7,2	8,4	10,0	10,6	9,3	6,6	3,0	0,4
		0,6			Y'	4,16	2,2	1,6	1,0	0,5	—	—	—	—	—
					X	0	1,2	2,4	4,8	9,6	14,4	24	33,6	43,0	48
4	4,8°	480	48,0	6,5	Y		3,8	4,4	5,3	6,1	6,5	5,6	3,1	2,0	0,3
		0,8			Y'	1,9	1,2	0,8	0,5	—	—	—	—	—	—
					X	0	0,8	1,6	3,25	6,5	9,7	16,0	22,7	29,2	32,5
5	3,5°	570	32,5	3,56	Y		2,0	2,5	3,0	3,2	3,56	2,84	2,0	0,8	0,2
		0,95			Y'	1,2	0,65	0,48	0,15	—	—	—	—	—	—

Чтобы получить законченную форму лопасти, необходимо по размерам, подсчитанным в табл. 5, построить на листе бумаги точки для пяти профилей лопасти и обвести по точкам контуры с помощью лекала, как показано на фиг. 13. Профили каждого сечения вычерчивают в натуральную величину с тем, чтобы по ним можно было при изготовлении лопасти вырезать шаблоны.



Фиг. 13. Профили сечений винтовой лопасти ветроколеса диаметром 1,2 *м*.

Для генератора мощностью в 1 *квт* необходимо ветроколесо диаметром 3,5 *м*. Чтобы получить размеры лопасти этого ветроколеса, необходимо приведенные в табл. 4 размеры ветроколеса диаметром 1 *м* умножить на 3,5 и составить таблицу, а затем вычертить профили лопасти, которые потребуются при изготовлении.

Мощности и обороты двухлопастных ветроколес с данной выше характеристикой приведены в табл. 6.

Этой таблицей необходимо пользоваться при выборе диаметра ветроколеса данной мощности и определения передаточного отношения редуктора, если обороты генератора окажутся больше оборотов ветроколеса, развиваемых им при скорости ветра 8 *м/сек*.

Например, при использовании для ветроэлектрического агрегата генератора автомобильного типа ГБФ мощностью в 60 *вт* при 900 об/мин подходит ветроколесо, имеющее $D=$ $=1,2$ *м*, мощностью 0,169 *л. с.* при 895 об/мин (см. первые две строчки табл. 6).

Таблица 6

Мощности и обороты двухлопастных ветроколес разных диаметров в зависимости от скорости ветра

Диаметры ветроколес в *м*	Обозначения мощности *N* и, оборотов *n*	Скорости ветра в *м/сек*				
		4	5	6	7	8 и выше
1	2	3	4	5	6	7
1,2	*N л. с.*	0,021	0,041	0,071	0,113	0,169
	n об/мин	446	560	670	780	895
1,3	*N*	0,025	0,048	0,084	0,113	0,200
	n	412	515	620	720	825
1,5	*N*	0,033	0,065	0,111	0,176	0,264
	n	358	446	535	625	715
3,0	*N*	0,133	0,254	0,445	0,706	1,060
	n	179	223	268	312	357
3,5	*N*	0,179	0,350	0,605	0,960	1,44
	n	153	192	230	268	306
5	*N*	0,365	0,715	1,23	1,96	2,92
	n	106	133	160	187	214
8	*N*	0,936	1,82	3,14	5,00	7,5
	n	67	84	100	117	134
10	*N*	1,470	2,860	4,950	7,850	11,800
	n	54	67	80	93	107
12	*N*	2,120	4,120	7,100	11,130	17,000
	n	44	56	67	78	89

Пересчитываем 0,169 *л. с.* на киловатты, умножив эту величину на 0,736:

$$0{,}169 \cdot 0{,}736 = 0{,}124 \text{ квт}.$$

Принимая к. п. д. генератора равным 0,5, получим полезную мощность равной:

$$N = 0{,}124 \cdot 0{,}5 = 0{,}062 \text{ квт} = 62 \text{ вт}.$$

Так как обороты ветроколеса при скорости ветра 8 *м/сек* почти равны оборотам, необходимым для генератора, то в

данном случае ветроколесо можно закреплять на валу генератора. Получается самый простой и удобный в эксплоатации ветроэлектрический агрегат.

Если бы мы задумали построить ветроэлектрический агрегат мощностью 400 *вт,* то необходимо было бы принять диаметр ветроколеса 3 *м,* которое при скорости ветра 8 *м/сек* развивает 1,060 *л. с.* или $1{,}060 \times 0{,}736 = 0{,}78$ *квт*. Принимая к. п. д. генератора равным 0,5, получим:

$$P = 0{,}78 \cdot 0{,}5 = 0{,}39 \text{ квт} = 390 \text{ вт}.$$

Ветроколесо при скорости ветра 8 *м/сек* развивает 357 об/мин, а генератор при мощности в 390 *вт* требует 1 000 об/мин. Следовательно, в данном случае требуется редуктор, повышающий обороты в передаче от ветроколеса к генератору. Редуктор должен повысить обороты в отношении.

$$1\,000 : 357 = 2{,}8.$$

Величину 2,8 называют передаточным отношением. С помощью этого отношения определяют число зубьев шестерен редуктора. Например, если мы примем у шестерни, насаженной на вал генератора, 16 зубьев, то у ведущей шестерни, сидящей на валу ветроколеса, должно быть

$$16 \cdot 2{,}8 = 45 \text{ зубьев}.$$

Двухлопастные ветроколеса, мощности и обороты которых приведены в табл. 6, мы рекомендуем строить для ветроэлектрических агрегатов потому, что они отличаются высокой быстроходностью и более удобны в изготовлении, чем многолопастные.

Быстроходные ветроколеса страдают очень существенным недостатком, заключающимся в том, что они плохо трогаются с места, следовательно, они могут начинать работать только при высоких скоростях ветра.

Многим начинающим ветротехникам кажется, что, чем больше число лопастей у ветроколеса, тем большую мощность оно будет развивать. Это представление ошибочно. Два ветроколеса малолопастное и многолопастное с одинаково хорошо построенными лопастями и с одинаковыми диаметрами ометаемой поверхности будут развивать одинаковую мощность. Объясняется это тем, что раз они одинаково хорошо выполнены, то и коэффициенты использования энергии ветра

их будут равны, т. е. они будут одинаковое количество энергии передавать рабочей машине. Количества же поступающей энергии ветра на то и другое ветроколесо равны, так как равны их ометаемые поверхности. Что же касается оборотов, то они будут тем больше, чем меньше лопастей, если они у того и другого ветроколеса имеют одинаковую ширину; иначе говоря, число оборотов тем больше, чем меньше общая поверхность лопастей, образующих ометаемую поверхность.

10. Как сделать крылья к ветроэлектрическому агрегату. Изготовление крыльев или лопастей ветроколеса является наиболее трудной работой у ветроэлектрического агрегата. Обработка лопасти, имеющей винтовую форму, требует внимания и умения производить разметку углов ее сечений, делать приспособления, шаблоны и т. п. Каждый мастер пользуется своими приемами при изготовлении лопасти. Наиболее рациональный прием является тот, который позволяет наиболее точно установить углы заклинения лопасти и правильно обработать профили каждого ее сечения. Мы воспользуемся способом изготовления ветроколеса (пропеллера) малой мощности, предложенным инж. Уткиным-Егоровым.

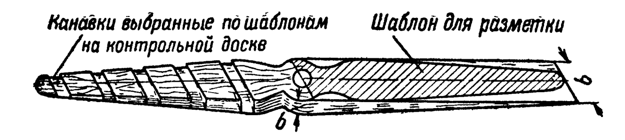
Материал подбирают из хорошо просушенных досок сосновых, ясеневых, кленовых или липовых. Доски должны быть высокого качества: без сучков, косослоя, синеватости и т. п. На одно ветроколесо требуется 4 доски, размеры которых устанавливают по чертежу пропеллера, принятому к изготовлению. Эти доски обрабатывают фуганком так, чтобы они были совершенно плоскими.

Клейка досок. Обработанные 4 доски склеивают вместе казеиновым клеем (столярный клей не годится, так как он боится сырости). Склеиваемые поверхности досок обрабатывают крупной шкуркой, чтобы они стали шероховатыми. Состав клея: от 300 до 400 *г* свежего казеинового клея в порошке насыпают в какую-либо посуду и постепенно вливают в него кипяченую воду, охлажденную до комнатной температуры. При вливании воды необходимо смесь все время помешивать до получения однородной (без комков) массы. Этой массе дают отстояться в течение 10 или 15 мин., а затем снова подливают кипяченую воду, помешивая, и делают массу клея более жидкой. Готовому клею снова дают отстоять и снова перемешивают. Клей на поверхность досок наносят кистью и быстро распределяют его ровным слоем. Эту операцию делают в порядке очередности укладки досок. Смазанные клеем и уложенные одна на другую доски туго стягивают струбцинками или скручивают тросиком с закрут-

кой, с интервалами около 300 *мм*. Чтобы не повредить поверхности досок, под каждую струбцинку или скрутку подкладывают тонкие дощечки.

Склеенные и стянутые доски просушивают в продолжение от 36 до 48 час. при нормальной комнатной температуре. Летом сушку надо производить под навесом. В результате всех этих работ получают заготовку ветроколеса.

Изготовление винтовой лопасти. Боковые стороны заготовки обрабатывают фуганком и наносят осевые линии крыльев, так чтобы эти линии пересекали ось вращения ветроколеса. Вообще же эти линии должны проходить на расстоянии $0{,}39 \times b$ от носка лопасти, где b — ее ширина в соответствующем сечении.

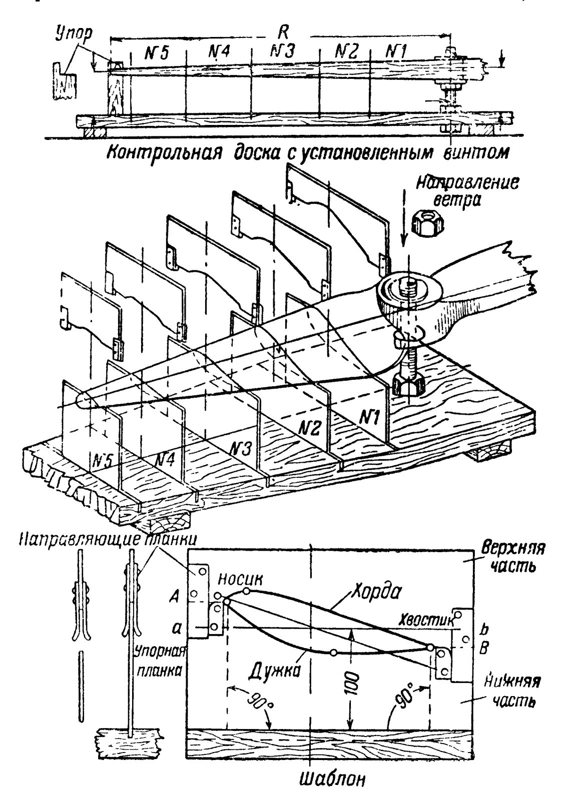


Фиг. 14. Заготовка для двухлопастного ветроколеса.

Пользуясь чертежом, на котором должны быть приведены все размеры ветроколеса, наносят на картон контур лопасти и вырезают из него шаблон. Затем накладывают этот шаблон на поверхность заготовки сверху и снизу так, чтобы его ось и центр точно совпали с осями заготовки, и очерчивают форму лопасти. Обработку боковых сторон заготовки делают, как показано на фиг. 14.

Дальнейшую обработку делают с помощью шаблонов и контрольной доски (фиг. 15). Для шаблонов нарезают из фанеры толщиной 3 *мм* прямоугольные заготовки совершенно одинаковых размеров: от 150 до 300 *мм* высотой и от 200 до 350 *мм* шириной в зависимости от размеров лопасти. Для больших ветроколес шаблоны надо вырезать из более толстой фанеры. На каждой заготовке проводят точно посредине вертикальную линию, а перпендикулярно ей—горизонтальную на расстоянии 100 *мм* от нижнего края шаблона. Пересечение этих линий будет центром профилей лопасти. Пользуясь чертежом, наносят на заготовку контуры профилей лопасти дужкой вниз и хордой вверх, располагая шаблон так, чтобы ось профиля точно совпала с вертикальной линией заготовки (фиг. 15). От носка и хвостика профиля проводят горизонтали A и B. По этим линиям и контуру профиля делают лобзи-

ком пропилы. В результате получаются разъемные шаблоны с выпиленными контурами профилей каждого сечения лопасти, взятого на определенном расстоянии r от оси вращения ветроколеса. Для крепления шаблонов на контрольной доске делают поперечные бороздки глубиной до 10 *мм*. В этих бороздках закрепляют нижние части шаблонов так, чтобы гори-

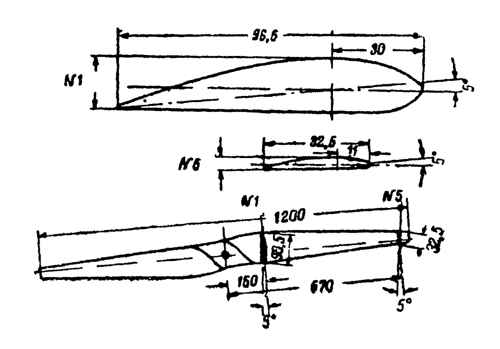


Фиг. 15. Контрольная доска с шаблонами для изготовления лопасти.

зонтальные линии $a - b$ всех шаблонов находились точно на одинаковой высоте по длине лопасти.

Посредине контрольной доски закрепляют болт диаметром от 16 до 20 *мм* с двумя гайками. Болт должен быть установлен перпендикулярно к доске, что проверяют уровнем или транспортиром с отвесом. После предварительной обработки заготовку ветроколеса одевают на болт так, чтобы дужка лопасти легла на вырез первого шаблона, смазанного по конту-

ру дужки краской. При наложении заготовки на шаблон на ней останется след в сечении лопасти, угол заклинения которого известен. После этого заготовку снимают и по отпечатку делают стамеской и напильником выемку шириной в 10—15 *мм.* Потом снова смазывают контур шаблона краской и опять надевают заготовку на болт и прижимают заготовку к крашеной поверхности шаблона. По отпечаткам краски обрабатывают канавку глубже. Таким образом продолжают обработку до тех пор, пока ветроколесо не ляжет плотно на первый шаблон № 1. После этого нижнюю гайку болта подкручивают настолько, чтобы она уперлась в поверхность ступицы ветроколеса.



Фиг. 15а. Размеры ветроколеса диаметром 1,2 *м*.

Затем снимают его и устанавливают второй шаблон № 2 с окрашенным контуром и повторяют работу по пригонке этого сечения лопасти к шаблону и т. д. После обработки дужек всех сечений лопасти, соответствующих шаблонам № 1, 2, 3, 4 и 5, получают 5 поперечных канавок.

Обработав так одну лопасть, приступают к обработке хорд верхней поверхности этой же лопасти, пользуясь в данном случае верхними шаблонами. Проверку правильности обработанных сечений делают установкой верхнего шаблона на нижний. Они должны точно сомкнуться по линии разъема, а контур дужки и хорды лопасти должен по всему профилю совпадать с контуром шаблона. Обработав одну лопасть, отвертывают верхнюю гайку на болте и поворачивают ветроколесо на 180° для обработки второй лопасти на этих же шаблонах.

Обработанное таким образом ветроколесо снимают с контрольной доски и приступают к обработке оставшихся меж-

ду бороздками необработанных поверхностей. Эту работу выполняют рубанком, стамеской, напильником, шкуркой и т. п. Окончательную обработку лопастей надо делать очень тщательно, особенно передних закругленных и задних заостренных кромок.

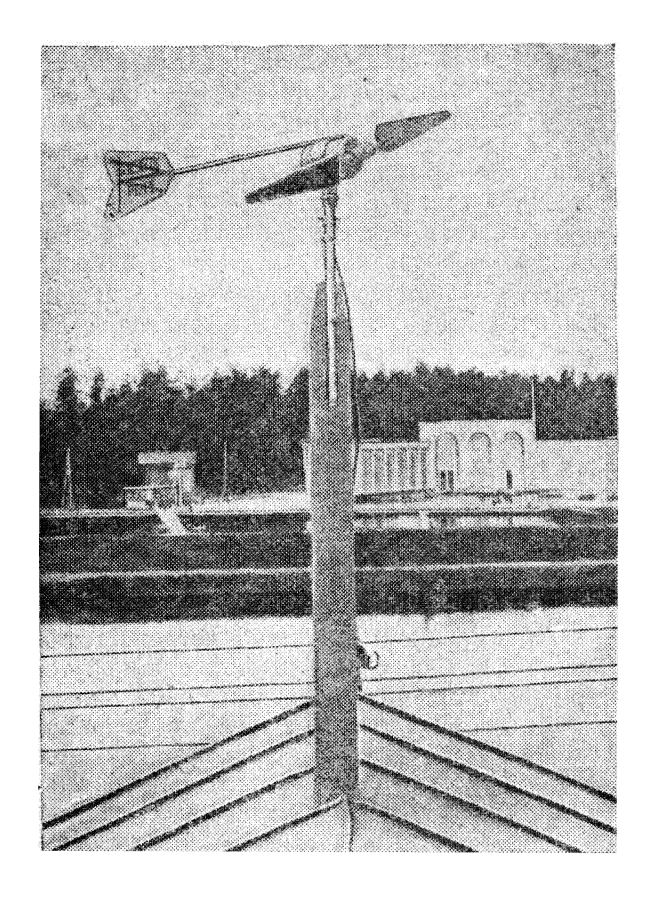
Готовое ветроколесо покрывают горячей олифой или маслом два или три раза, просушивают и затем от двух до трех раз покрывают спиртовым лаком или окрашивают масляной краской. Законченное ветроколесо необходимо отбалансировать. Балансировку производят на точеном стержне, вставленном во втулку ветроколеса. Стержень должен лежать точно по горизонтали на острых опорах. Лопасти винта при этом должны уравновешиваться, не перетягивая друг друга. Точного равновесия достигают малым смещением втулки в ступице ветроколеса в ту или иную сторону от первоначальной ее оси. После балансировки втулку прочно закрепляют болтами в найденном для нее положении.

Из описанного выше способа изготовления ветроколеса мы видим, что самой трудной задачей является получение необходимых углов φ заклинения, придающих лопасти винтовую форму. Закрутка лопасти затрудняет ее продольную обработку, установку шаблонов на контрольной доске и т. п. Поэтому, кому трудно будет изготовить винтовую лопасть, мы рекомендуем сделать упрощенную лопасть с постоянным углом заклинения φ по всей длине лопасти. В этом случае коэффициент использования энергии ветра снизится от 5 до 10%, т. е вместо $\xi = 0{,}35$, мы будем иметь $\xi = 0{,}25$, но зато изготовить эти лопасти будет значительно проще. При изготовлении спрямленной лопасти потребуется изготовить только 2 крайних шаблона № 1 и № 5. Промежуточные профили сечений лопасти получатся сами собой при продольной обработке, так как все линии от профиля первого сечения идут к профилю в пятом сечении по прямой. При этом угол φ и в первом и в пятом сечении должен быть равен 5°. Координаты профиля первого и пятого сечений даны в табл. 4 и 5. Эти координаты можно сохранить и для спрямленной лопасти. Размеры ветроколеса диаметром 1,2 *м* даны на фиг. 15а. Спрямленную лопасть для других размеров можно делать также с постоянным углом заклинения $\varphi = 5°$, а координаты профилей № 1 и № 5 определять с помощью табл. 4.

Надо заметить, что с увеличением угла заклинения лопасти будет снижаться быстроходность и повышаться момент трогания ветроколеса. Увеличение угла до 10—12° можно делать у агрегатов с редуктором.

III. КАК СДЕЛАТЬ САМОМУ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ

11. Конструкции существующих ветроэлектрических агрегатов. Прежде чем приступить к постройке простейшего ветроэлектрического агрегата, необходимо познакомиться с кон-

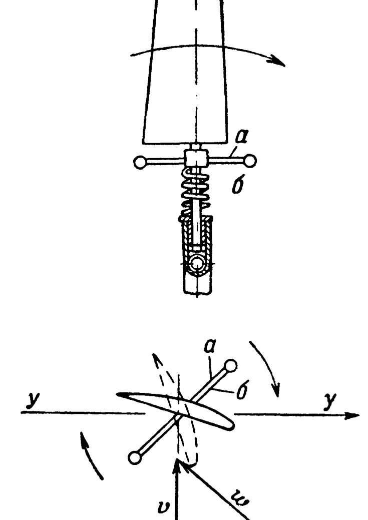


Фиг. 16. Ветроэлектрический агрегат РД-1,5.

струкциями существующих ветроэлектрических агрегатов заводского производства. Их так же можно изготовить своими силами в простейшей мастерской, где придется только обточить или сварить некоторые детали.

[Ветроэлектрический агрегат ВИСХОМ РД-1,5. Для зарядки аккумуляторных батарей, а также освещения небольших помещений (сельские школы, избы-читальни и т. п.) может быть применен ветряк очень малых размеров. Основным преимуществом маленьких быстроходных ветряков является возможность исключить редуктор, посадив ветроколесо непосредственно на ось динамо, что и сделано у ветродвигателя РД-1,5 (фиг. 16).

Двухлопастное ветроколесо диаметром 1,5 *м* закреплено непосредственно на валу генератора ГАУ-4101 автомобильного типа мощностью до 100 *вт*. Генератор закреплен хомутом на штыре, который поворачивается в двух подшипниках, смонтированных в стойке ветряка. Позади генератора закреплен хвост установа на ветер. Обороты ветроколеса регулируются поворотом лопасти около оси маха по системе регулирования, предложенной В. С. Шаманиным (фиг. 17).



Фиг. 17 Регулирование ветродвигателя РД-1,5.

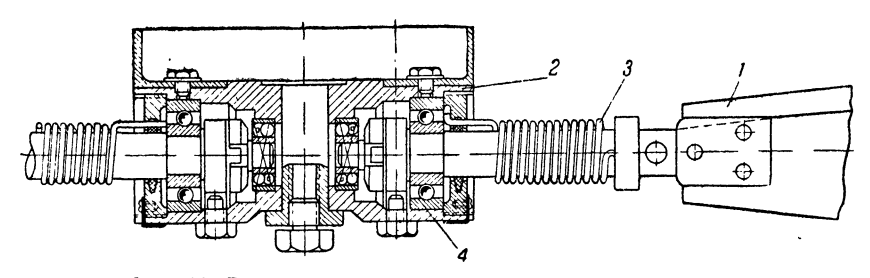
Махи лопастей свободно поворачиваются во втулке ветроколеса на шарикоподшипниках. На махах на некотором расстоянии от оси вращения почти перпендикулярно к передней плоскости крыла закреплена штанга *а*, на концы которой одеты грузики *б*. При увеличении оборотов грузики *б* стремятся стать в плоскость вращения ветроколеса, как показано стрелками, и поворачивают лопасти ребром к ветру. Вместе с этим подъемная сила на крыльях убывает и ветроколесо снижает обороты. В обратное положение лопасти поворачиваются пружиной, одетой на махи.

Так как момент трогания ветродвигателя очень мал, то пуск его в работе делается стартером от аккумуляторной батареи, при этом динамо работает как мотор до разбега ветря-

ка, а затем аккумуляторная батарея отключается и ветродвигатель переходит на рабочий режим.

Для останова ветряка, что требуется очень редко, служит маленький тормоз, состоящий из барабана, вращающегося вместе с ветроколесом, и рычажка с колодкой. От рычажка протянут вниз тросик, которым действуют на рычажок, прижимающий колодку к барабану тормоза. Так как мощность ветряка незначительная, то это простое устройство вполне обеспечивает торможение.

Как смонтированы крылья во втулке ветроколеса, показано на фиг. 18, а на фиг. 19 показаны основные детали этого ветроэлектрического агрегата, где для представления о размерах деталей положена счетная линейка.

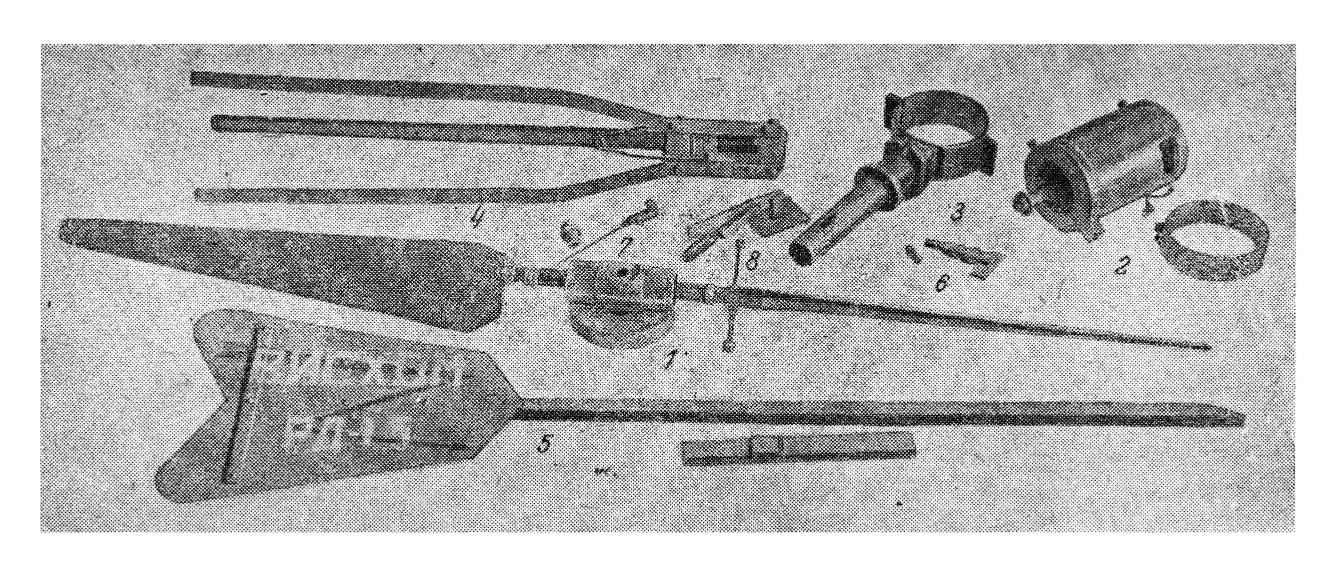


Фиг. 18. Втулка ветроколеса с поворотными лопастями.
1 — лопасть ветроколеса; *2* — шкив тормоза; *3* — пружина регулирования; *4* — шарикоподшипник.

Техническая характеристика

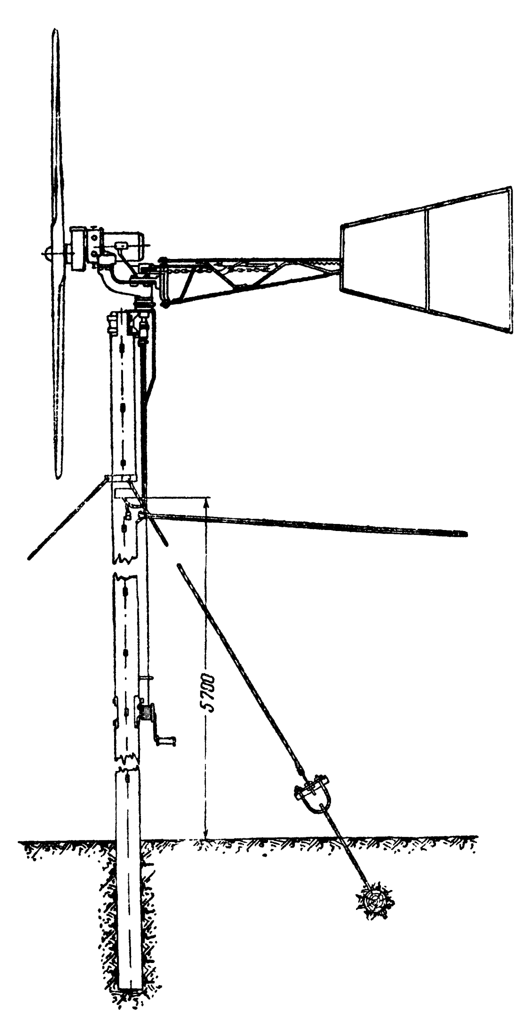
Диаметр ветроколеса	1,5 *м*
Число лопастей	2
Быстроходность	7,5
Коэффициент использования энергии ветра	0,35
Обороты ветроколеса при скорости ветра от 8 до 9 *м/сек*	900 об/мин
Мощность на валу генератора при скорости ветра от 8 до 9 *м/сек*	100 *вт*
Ток постоянный напряжением	6 *в*
Тип аккумуляторной батареи—стартерный	
Вес агрегата с генератором	28 *кг*

Ветроэлектрический агрегат ВИСХОМ Д-3,5 имеет двухлопастное ветроколесо диаметром 3,5 *м*. Вращение передается генератору через редуктор с передаточным отношением 1 : 3,42. Генератор смонтирован позади редуктора на кронштейне, закрепленном на опоре, поворачивающейся около вертикальной оси в двух подшипниках, притянутых к деревянному столбу болтами (фиг. 20). Ограничение оборотов осуществляется выводом ветроколеса из-под ветра. Для этого



Фиг. 19. Детали ветроэлектрического агрегата РД-1,5.

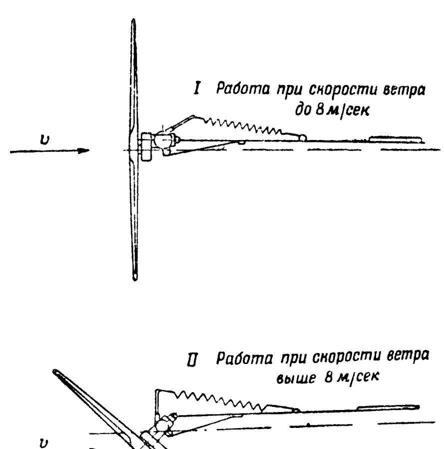
1 — ветроколесо; *2* — генератор; *3* — опора генератора; *4* — опора головки ветродвигателя; *5* — хвост; *6* — рычаг с колодкой тормоза; *7* — втулка с тормозным шкивом; *8* — штанга с грузиками регулирования.

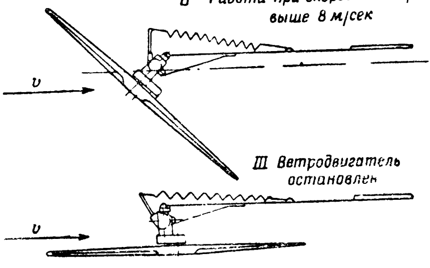


Фиг. 20. Ветроэлектрический агрегат ВИСХОМ Д-3,5.

ось ветроколеса смещена на 60 *мм* вправо от вертикальной оси поворота головки, вследствие чего при скорости ветра выше расчетной лобовое давление вызывает момент, поворачивающий головку вправо, и выводит ветроколесо из-под ветра (фиг. 21). В этот момент снижаются обороты ветроколеса и убывает мощность. При уменьшении скорости ветра

ниже расчетной пружина, закрепленная одним концом на головке ветродвигателя, а другим на хвосте, возвращает ветроколесо на ветер. Таким образом, предохраняется ветроколесо от разноса, а генератор от перегрузки при скоростях ветра выше 8—9 *м/сек*.



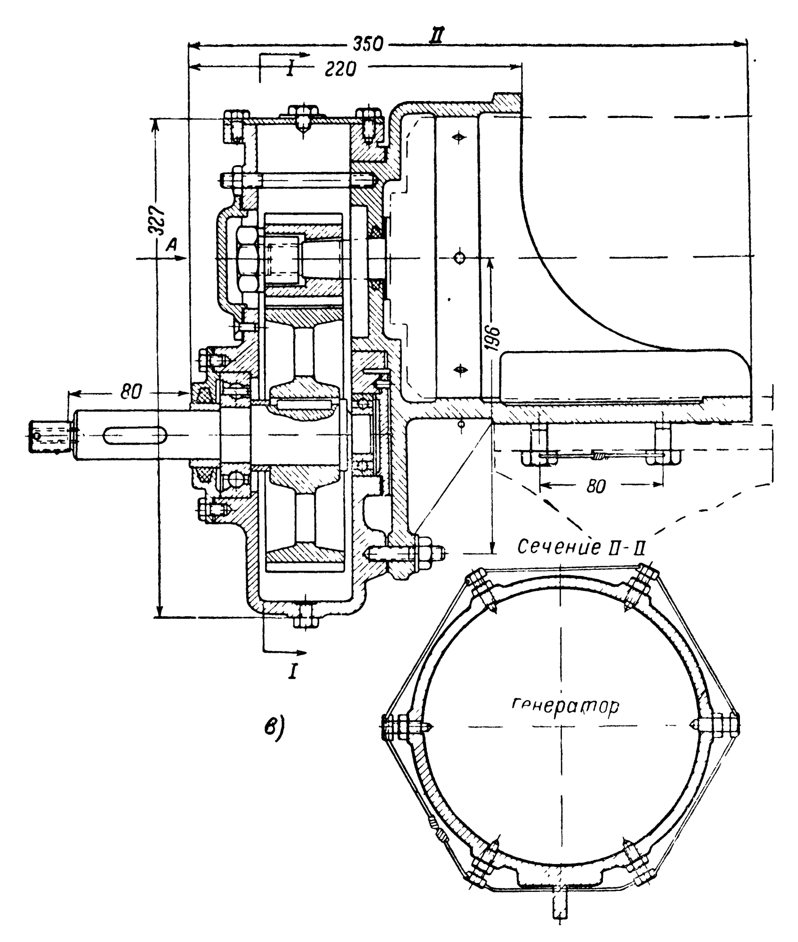


Фиг. 21. Регулирование ветродвигателя ВИСХОМ Д-3,5.

Ветроэлектрический агрегат применяется для электроосвещения хозяйственных помещений в колхозах и совхозах. Он может быть использован для радио и телефонной связи, а также трансляционных радиоузлов мощности до 25 *вт*.

Техническая характеристика

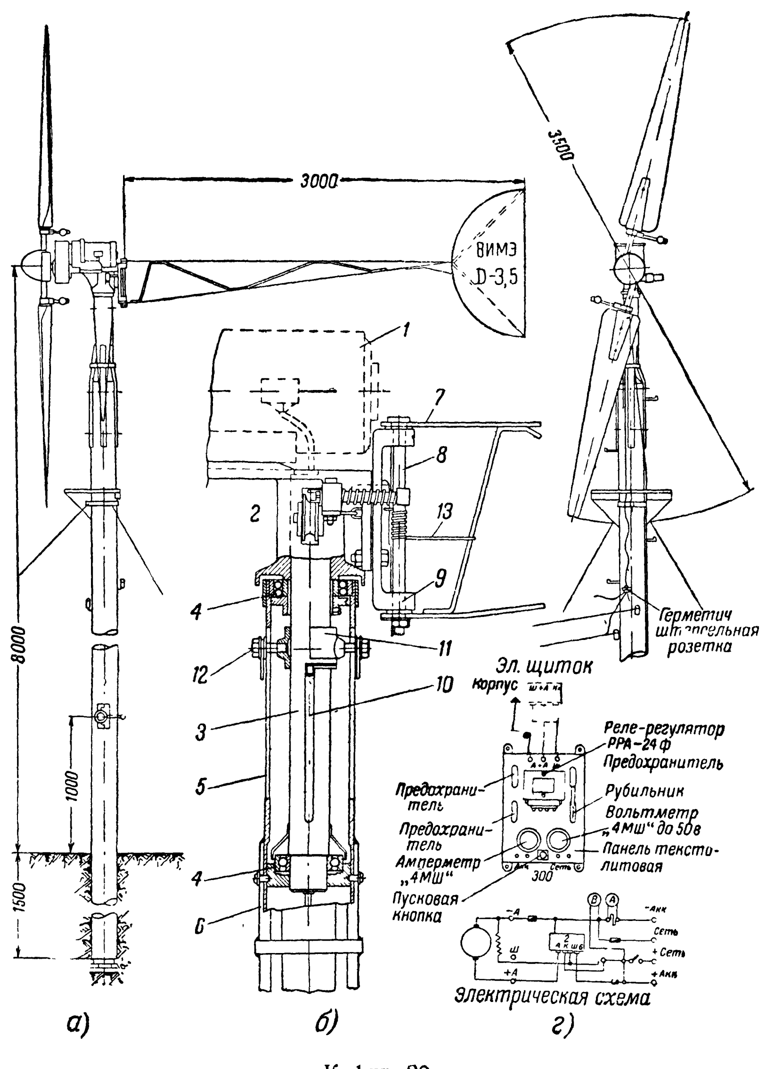
Диаметр ветроколеса	3,5 *м*
Число лопастей	2
Коэффициент использования энергии ветра	0,35
Быстроходность	7,5
Генератор тип ГТ-4563А — постоянный ток	24 *в*
Мощность	1 000 *вт*
Аккумуляторная батарея на	140 *ач*
Вес агрегата с генератором	152 *кг*



Фиг. 22. Ветроэлектрический агрегат ВИМЭ Д-3,5.

Ветроэлектрический агрегат ВИМЭ Д-3,5 сконструирован для тех же целей, что и агрегат ВИСХОМ Д-3,5 и отличается от него тем, что регулирование оборотов и мощности ветродвигателя осуществляется поворотом лопастей около осей махов ветроколеса. Конструкция агрегата предложена авторами этой брошюры.

На фиг. 22 (стр. 40 и 41) показаны узлы этого агрегата: *а*) общий вид; *б*) опоры, в которых поворачивается головка ветродвигателя; *в*) редуктор в разрезе; *г*) электрическая схема и щит.


3000
ВИМЭ
D-3,5
3500
8000
1000
1500
1
2
7
8
13
9
4
11
12
10
3
5
4
6
Герметич
штепсельная
розетка
Эл. щиток
Корпус
Реле-регулятор
РРА-24 ф
Предохранитель
Рубильник
Вольтметр
„4МШ" до 50в
Панель тексто-
литовая
Предохрани-
тель
Предохрани-
тель
Амперметр
„4МШ"
Пусковая
кнопка
300
-А
+А
Ш
-Акк
-Сеть
+Сеть
+Акк
электрическая схема
а)
б)
г)

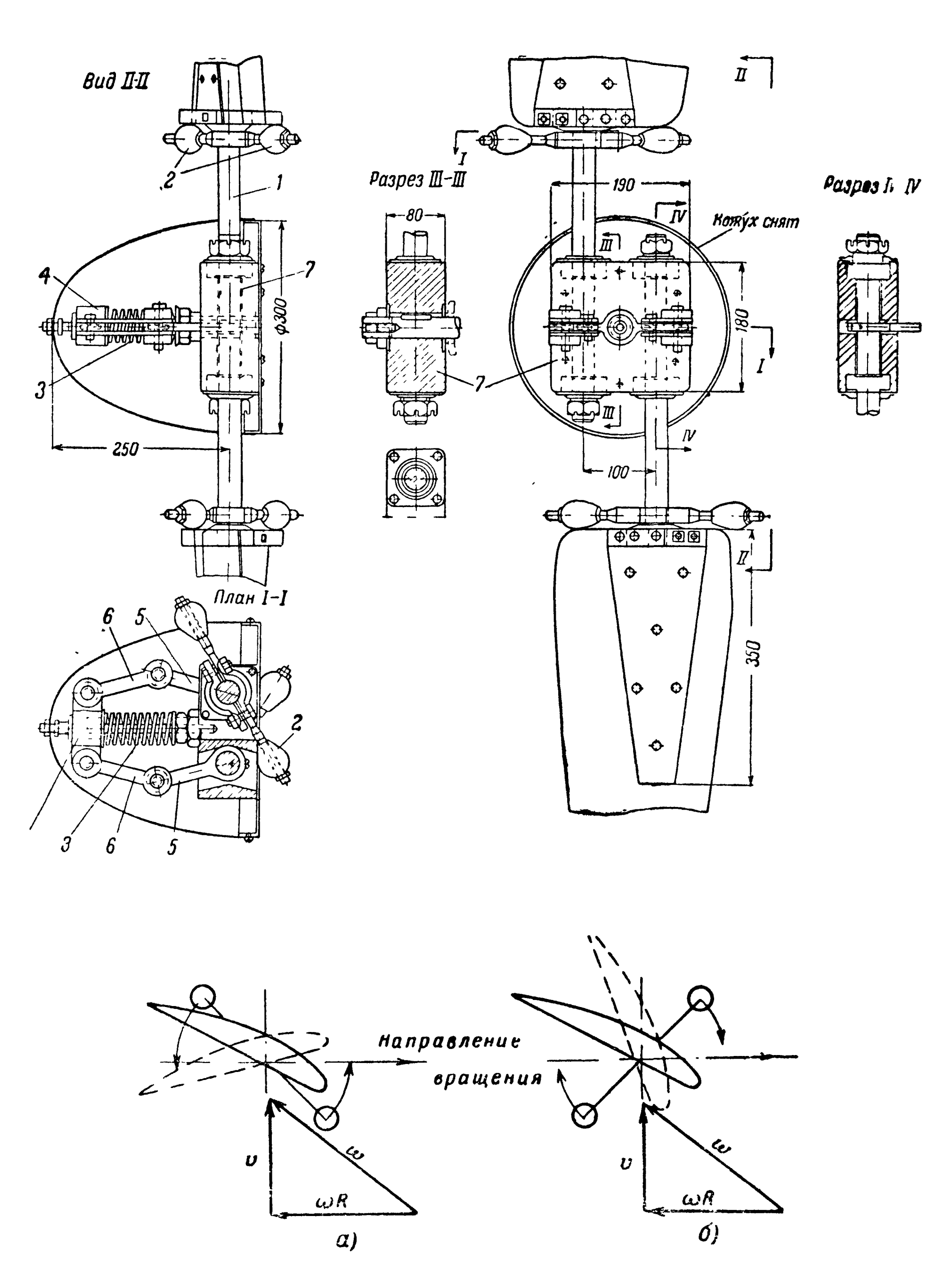
К фиг. 22.

Генератор *1* закреплен на чугунной станине *2*, в патрубок которой впрессована труба *3* диаметром 1,5 дюйма. Эта труба поворачивается на шарикоподшипниках *4-4*, смонтированных в 3-дюймовой трубе *5*. Внизу к внешней стенке этой трубы приварены *4* длинных пластины *6* из полосового железа, которыми труба *5* закрепляется на столбе в вертикальном положении.

Останов ветродвигателя осуществляется выводом ветроколеса из-под ветра. Хвостовая ферма *7* может поворачиваться на оси *8*, пропущенной сквозь проушины скобы *9*, закрепленной на головке ветродвигателя. К ферме хвоста прикреплен тросик, который перекинут через два ролика и направлен внутрь трубы *3*, в которой сделана продольная прорезь. Тросик прикрепляется к скобе, выступ которой проходит через прорезь *10* и подхватывает снизу муфту *11*. Эта муфта может свободно перемещаться продольно по трубе *3*. В муфту *11* с двух диаметрально противоположных сторон через продольные вырезы в трубе *5* ввернуты 2 болта *12*. К этим болтам привязаны два конца тросика, прикрепленного внизу к маленькой ручной лебедке. При останове ветродвигателя лебедкой натягивают тросик, вместе с этим муфта *11* перемещается вниз и тянет тросик, проходящий внутри трубы *3*. Этот тросик при натяжении складывает головку ветродвигателя с хвостом, выводя ветроколесо из-под ветра.

При пуске ветродвигателя в работу тросик, закрепленный на лебедке, освобождают, одновременно с этим пружина *13* отталкивает хвост от головки и ветроколесо устанавливается на ветер.

Регулирование оборотов и мощности ветродвигателя осуществляется поворотом лопасти ветроколеса около оси махов, для чего на махах ветроколеса *1* монтируется штанга с грузиками *2-2* (фиг. 23). При увеличении оборотов выше расчетных грузики *2* стремятся стать в плоскость вращения ветроколеса и поворачивают лопасть на невыгодный угол атаки, вследствие чего убывает подъемная сила на ветроколесе, и оно снижает мощность и обороты. Под действием центробежных грузиков *2* лопасть может настолько повернуться, что подъемная сила будет действовать в обратную сторону вращения ветроколеса, как показано на схеме *а*, фиг. 23 внизу пунктиром слева. Если штангу с грузиками расположить так, как показано на схеме *б*, то лопасть будет поворачиваться хвостиком назад, снижая подъемную силу на лопасти, и ветроколесо также будет снижать обороты и мощность. В обратное положение лопасти устанавливаются пружиной *3*, которая



Фиг. 23. Регулирование ветродвигателя ВИМЭ Д-3,5.

одета на штырь, ввернутый в торец вала ветроколеса, и упирается в муфту *4*. Эта муфта шарнирным механизмом соединена с махами лопастей, причем рычажки *5-5* механизма жестко закреплены на махах ветроколеса и действуют на муфту *4* через звенья *6-6*, шарнирно соединенные с рычажками *5-5* и муфтой *4*. Этот механизм называют кинематической связью, он позволяет лопастям поворачиваться на одинаковый угол при регулировании, чем достигается хорошее равновесие лопастей во время работы.

Махи монтируются во втулке *7* на шарикоподшипниках; для удобства сборки и разборки ветроколеса они расположены эксцентрично относительно его оси вращения. Такое положение махов позволяет просто осуществить кинематическую связь крыльев двухлопастного ветроколеса.

Техническая характеристика

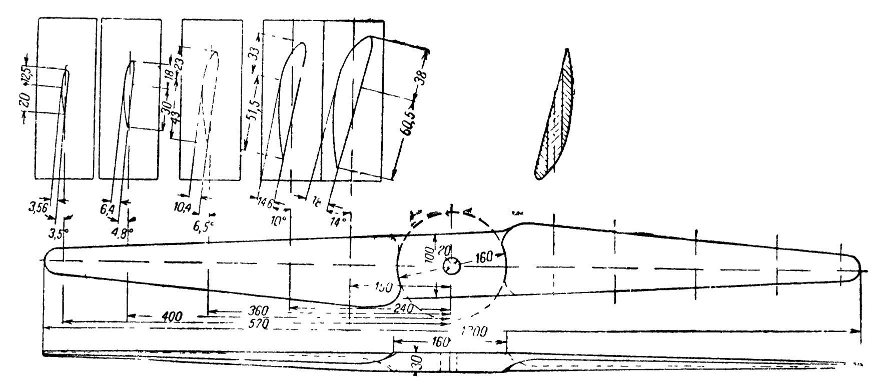
Диаметр ветроколеса	3,5 *м*
Число лопастей	2
Коэффициент использования энергии ветра	0,35
Быстроходность	7,0
Мощность при скорости ветра 8 *м/сек*	1 *квт*
Ток постоянный, рабочее напряжение	24 *в*
Обороты ветроколеса при скорости ветра 8 *м/сек*	306 об/мин
Передаточное отношение редуктора	1 : 3,67
Обороты генератора	1 120 об/мин
Вес агрегата с генератором без столба	160 *кг*

12. Как сделать самому простейший ветроэлектрический агрегат на 100 *вт* без помощи завода. Зная построение основных узлов ветродвигателя, о которых было сказано выше, мы легко можем сделать сами ветроэлектрический агрегат. Особенно просто сделать ветроэлектрический агрегат на малую мощность до 100 *вт*, так как в данном случае можно обойтись без редуктора. Кроме того, обороты генератора автомобильного типа могут изменяться в очень широких пределах, например, генератор типа ГБФ дает полезную мощность при изменении числа оборотов в пределах от 800 до 4 000 об/мин. Следовательно, и ветроколесо может работать в этих пределах оборотов. Согласно табл. 6 ветроколесо диаметров 1,2 *м* развивает 895 об/мин при скорости ветра 8 *м/сек,* а 3 000 об/мин оно может развить с нагрузкой только при скорости ветра 27 *м/сек,* т. е. в сильную бурю, когда ветродвигатель вообще останавливают, да и скорость

такая бывает не более одного раза в 2—3 года. Следовательно, представляется возможность к такому агрегату не делать регулирующего механизма, усложняющего ветродвигатель. Чтобы не ожечь обмотку генератора нельзя допускать работу без буферной батареи, а в сильную бурю необходимо останавливать ветроколесо.

Как же построить такой простейший ветроэлектрический агрегат?

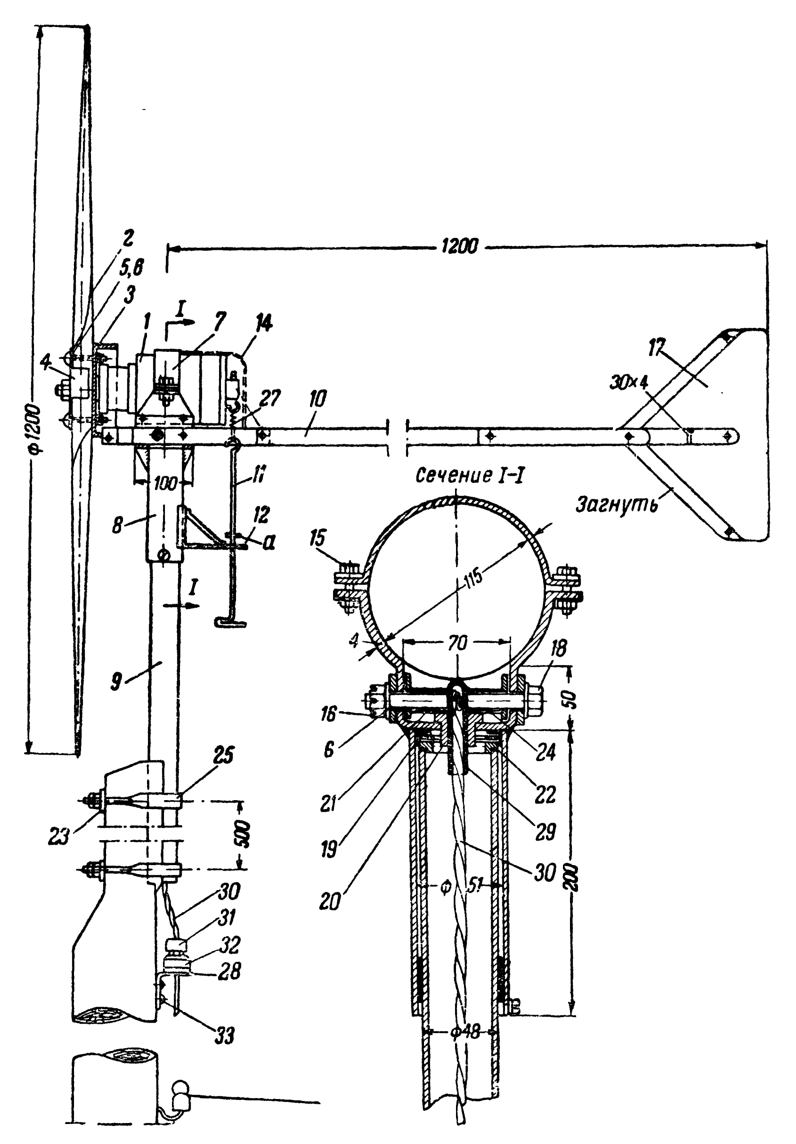
1. В первую очередь определяют размеры ветроколеса на мощность, соответствующую оборотам генератора, который



Фиг. 24. Двухлопастное ветроколесо Д-1,2 с винтовой лопастью.

представилась возможность каким-либо образом приобрести. Наша электропромышленность выпускает генераторы автомобильного типа в огромном количестве, следовательно, приобрести такой генератор всегда возможно. Размеры лопасти и ее профилей ветроколеса диаметром 1,2 *м* подсчитаны в табл. 5 и показаны на фиг. 13 и 24. Изготовление ветроколеса надо делать по способу, указанному в § 10. Это будет наиболее трудная работа. Если справиться с этой задачей самому, то закрепить ветроколесо на валу генератора, а генератор на опоре можно без помощи со стороны.

Общий вид простейшего ветроэлектрического агрегата показан на фиг. 25. Двухлопастное ветроколесо *2* вращает генератор *1*, который прихвачен хомутом *7* к опоре *8*. Эта опора состоит из двухдюймовой трубы длиной 200 *мм* и седла из полосового железа, приваренного к торцу трубы. Генератор положен в это седло и прихвачен к нему хомутом *7*. Опора одета на стойку *9*, которая изготовлена из отрезка трубы длиной 1 000 *мм* и с внешним диаметром 48 *мм*. Таким образом,



Фиг. 25. Простейший ветроэлектрический агрегат Д-1,2 без редуктора.

Таблица 7

№№ дет	Количество	Наименование	Эскиз или технические данные	Материал
1	2	3	4	5
1	1	Генератор постоянного тока	„ГБФ-4600“ 6 в 80 вт 800-3000 об/мин	
2	1	Пропеллер		Сосна клееная
3	1	Тормозной шкив		Ст. 3
4	1	Накладка		— „ —
5	2	Болт		— „ —
6	6	Шайба		— „ —
7	1	Накладка		— „ —
8	1	Основание головки		— „ —
9	1	Опорная труба		— „ —
10	1	Штанга хвоста		— „ —
11	1	Тяга тормоза		— „ —
12	1	Кронштейн		— „ —
13 15	3	Болт		— „ —
14	1	Кожух		жесть

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
17	1	Хвост	350; 200; 180	Жесть толщ 2мм
18	1	Болт	φ10; 110	Ст 3
19	1	Кольцо	Φ50,5; 2; 8; 2; 10; r=25	Латунь
20	1	Втулка	20; 15; φ25; 15; 40	Текстолит
21	1	„ – "	11; 14; 60	Ст 3
22	1	Упорная втулка	φ30; φ43; 5; 8; 46	— „ —
23	2	Планки	120; 15; 50; 160; 10	— „ —
24	1	Тормозной рычаг	100; 120; 11; 30; 50; r=80; 5; 76; 4	— „ —
25	2	Хомут с 4мя гайками	M14; 4; 120; r=30; 100; 50; 60; 40	— „ —
26	1	Крюк	M8; r=10; 60	— „ —
27	1	Пружина	40; φ2; 20	
28	1	Кронштейн	2; φ30; 60; 6; 60	Ст 3
29	0,5 м	Резиновая трубка	Внутр φ 10мм	
30	3 м	Гибкий провод	Сеч $2 \times 2{,}5$ мм^2	
31	1	Штепсельная вилка	2^{х} полюсная	
32	1	„ – " розетка	„ – "	
33	3	Шуруп	φ 5 l–40	

ветроколесо с генератором могут свободно поворачиваться на стойке *9* при установе ветроколеса на ветер хвостом *10*. В верхней части стойки опора вращается на прокладке, вырезанной из листовой латуни. Эта прокладка положена между кольцом *19* и втулкой *20*, вставленной в верхний конец стойки. *9*. Латунная прокладка введена с целью уменьшения трения при поворотах опоры.

Останов осуществляется торможением ветроколеса с помощью маленького механического тормоза *3—24*. Тормозной шкив *3* диаметром 100 *мм* закреплен на ветроколесе двумя болтами *6*. Тормозную колодку представляет скоба, изогнутая по радиусу, который равен радиусу внешней окружности шкива тормоза. Эта скоба приклепана к рычагу *24* из полосового железа, который охватывает с двух сторон опору генератора и поворачивается на болте *18*. В задней перемычке рычага *24* сделано два отверстия. В одно отверстие сверху входит крючок пружины *27*, в другой — крючок тяги *11*. Пружина *27* оттягивает задний конец рычага вверх, в этот момент тормозная скоба отходит от тормоза, и ветроколесо может свободно вращаться. При останове ветроколеса необходимо потянуть тягу *11* вниз, и когда шпилька *а* пройдет сквозь продольное отверстие кронштейна *12*, надо ее повернуть и отпустить. Шпилька *а* задержит тягу в натянутом положении, при этом тормозная скоба будет прижата к тормозному шкиву, и ветроколесо не будет в состоянии провернуться.

Агрегат монтируется на деревянном столбе, к которому стойка *9* притягивается хомутами *25*. При установке агрегата на крыше дома необходимо высоту ветроколеса принимать с таким расчетом, чтобы конец лопасти при положении ее внизу был минимум на 2 *м* выше конька крыши.

Гибкий провод *30* от генератора проходит по центру стойки *9* и заканчивается штепсельной вилкой *31*, которая приключена к розетке *32*, смонтированной на кронштейне *28*. Примерно в 3 мес. один раз необходимо вилку освободить и дать возможность проводу раскрутиться, если он мог закрутиться в этот период при поворотах головки в одном направлении несколько раз.

Другие детали приведены в спецификации табл. 7, где даны их общие виды и размеры. Они настолько просты, что не требуют пояснений их устройства.

Необходимо заметить, что приведенное выше описание простейшего ветроэлектрического агрегата дается как пример построения такого типа агрегатов. В практике, очевидно, придется делать некоторые отступления от приведенных в при-

мере и материалов и формы деталей, что будет вызываться условиями изготовления, а также опытностью мастера.

Принятый у данного агрегата диаметр ветроколеса в 1,2 *м* является минимальным. Такой размер принят с расчетом получить обороты не ниже 700 об/мин при скорости ветра около 6 *м/сек* и около 900 об/мин при скорости ветра 8 *м/сек*. Ветроколесо диаметром выше 1,2 *м* будет меньше давать обороты и потребует редуктор, повышающий обороты до необходимых генератору. При наличии же редуктора агрегат получается сложнее. При диаметре ветроколеса выше 1,5 *м* необходимо ставить редуктор, а генератор брать мощностью до 200 *вт*. Ветроколесо диаметром 2 *м* с такой же характеристикой как при диаметре 1,2 *м*, будет делать 540 об/мин при скорости ветра 8 *м/сек*. Следовательно, для генератора, которому необходимо дать 1 300 об/мин при полной его мощности, потребуется делать одноступенчатый редуктор с передаточным отношением, равным

$$1\,300 : 540 = 2{,}4.$$

В этом случае надо подбирать из утиля пару цилиндрических шестерен с передаточным отношением около 1 : 2,5.

IV. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ И УХОД ЗА НИМ

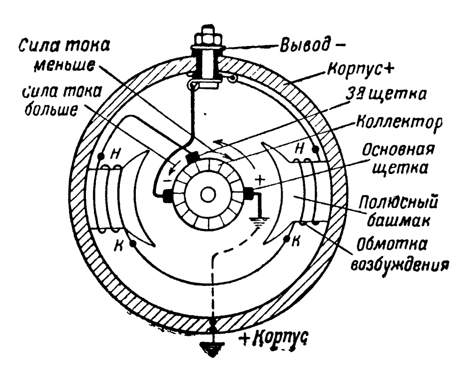
(Г. А. ПЕЧКОВСКИЙ)

13. Электрооборудование. Генератор ветроэлектрического агрегата является основным элементом электрооборудования. Для маломощных ветроэлектрических агрегатов применяют генераторы постоянного тока от автомашин и тракторов. Объясняется это тем, что последние работают на переменных оборотах, как и ветродвигатели. К маломощным ветроэлектрическим агрегатам с диаметром ветроколеса до 1,5 *м* наиболее подходит из выпускаемых в настоящее время генератор типа ГБФ, применяемый на автомашинах ГАЗ-2А и ЗИС-5. Мощность этого генератора 60—80 *вт*, напряжение 6—7 *в*, число оборотов от 800 до 4 500 об/мин.

Монтажная электрическая схема генератора ГБФ дана на фиг. 26.

Чтобы увеличить к. п. д. генератора, т. е. получить от него электроэнергию при меньшей скорости ветра и на меньших оборотах, необходимо произвести домотку полюсных ка-

тушек. Делается это следующим образом. Отвинтив полюсы генератора, снимают катушку с обмоткой возбуждения и аккуратно разматывают изоляцию. Затем, укрепив катушку на шаблон из деревянной колодки, в том же направлении, как и у основной катушки, доматывают 40 витков эмалированной медной проволоки ПЭ диаметром 1 *мм* с сохранением прежней толщины катушки. Место спайки домотанного провода с



Фиг. 26. Монтажная электрическая схема генератора ГБФ.

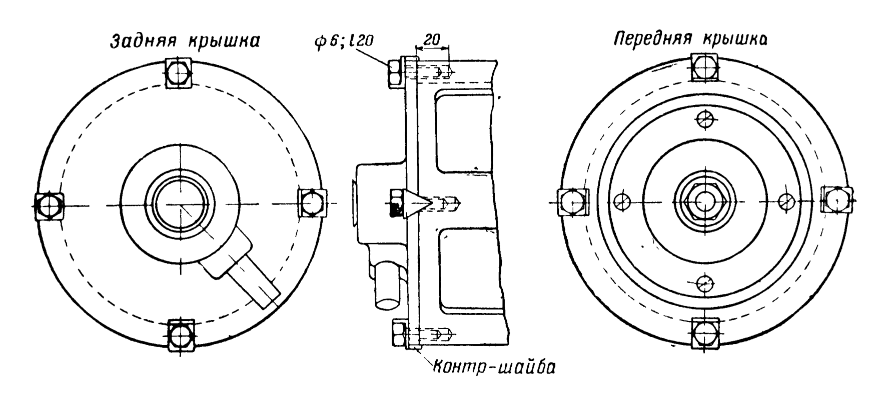
концом катушки должно быть надежно заизолировано. После домотки катушку вновь изолируют, устанавливают ее на старое место и восстанавливают все прежние соединения. При этом может оказаться, что домотанная катушка займет больше места, чем прежняя, и стягивающие болты будет трудно пропустить. Поэтому крепление крышек к корпусу генератора нужно сделать так, как показано на фиг. 27. С целью уменьшения потерь на трение необходимо ослабить нажим щеток, поставив к ним более слабые пружины.

Для более мощного ветроэлектрического агрегата с диаметром ветроколеса 3,5 *м* применяется автобусный генератор типа ГТ-4563 мощностью 1 *квт*, напряжением 24 *в*, 900 — 2 500 об/мин., монтажная электрическая схема этого генератора дана на фиг. 28.

Аккумуляторная батарея является необходимой частью ветроэлектрического агрегата. Она позволяет получать электроэнергию с постоянной мощностью, что не может дать ветродвигатель непосредственно вследствие непостоянства энергии ветра. Кроме того, она запасает электроэнергию, которая расходуется в безветренные дни. При ветроэлектрическом агрегате с диаметром ветроколеса до 1,5 *м* устанавли-

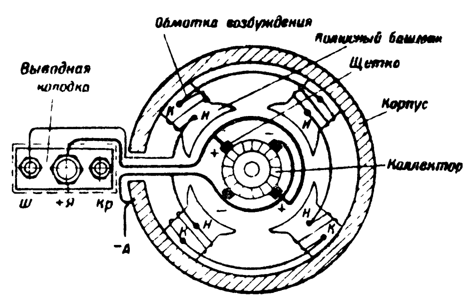
вается аккумуляторная батарея напряжением в 6 *в*, например, один аккумулятор 3СТЭ-80 или 3СТЭ-112 от автомашин ГАЗ-2А и ЗИС-5.

Для ветроэлектрического агрегата с диаметром ветроколеса 3,5 *м* необходимо устанавливать аккумуляторную батарею на 24 *в*. Эта батарея составляется из 2 аккумуляторов 6СТЭ-128 на 128 *ач* каждый или 6СТЭ-144 емкостью на 144 *ач* каждый.

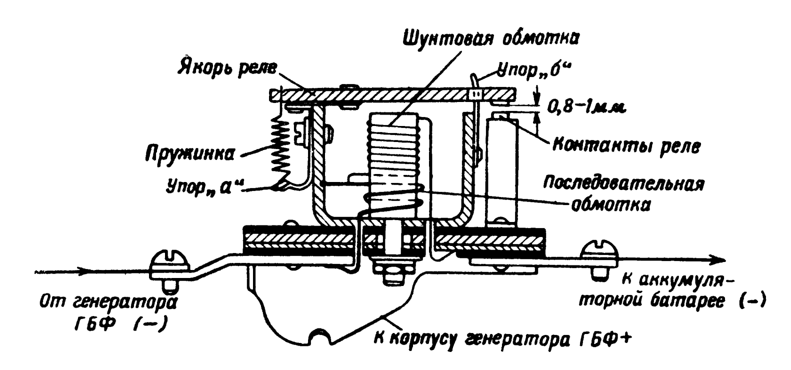


Фиг. 27. Крепление крышек к корпусу генератора ГБФ-4600 после домотки катушек.

Вместо стартерных аккумуляторов типа СТЭ можно использовать и другие аккумуляторы, например, стационарные типа С или железнодорожные соответствующей емкости. Для 6-вольтовой батареи необходимо брать 3 шт. таких аккумуляторов, а для 24-вольтовой — 12 шт.



Фиг. 28. Монтажная электрическая схема генератора ГТ-4563-А.



Фиг. 29. Монтажная электрическая схема простейшего реле обратного тока типа ЦБ.

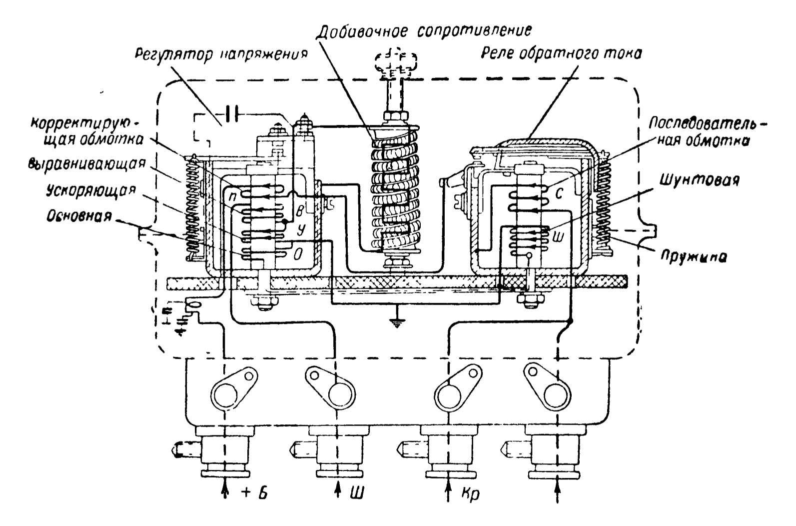
Реле обратного тока. Для защиты аккумуляторной батареи от разряда ее на генератор применяется реле обратного тока. Этот прибор отключает аккумуляторную батарею сейчас же, как только упадет напряжение генератора при снижении его оборотов. Если не отключить в этот момент аккумуляторную батарею, то электрический ток пойдет от нее к генератору, который начнет работать как мотор. Следовательно, батарея будет разряжаться бесполезно. На фиг. 29 показана монтажная электрическая схема простейшего реле обратного тока типа ЦБ, применяемого для ветроэлектрических агрегатов с диаметром ветроколеса до 1,5 *м*. Это реле применяется у генератора ГБФ.

Регулятор напряжения. Для поддержания постоянной величины напряжения генератора служит регулятор напряжения. При наличии этого прибора даже в случае отсоединения аккумуляторной батареи напряжение не поднимается выше допустимой величины и лампы будут гарантированы от перекала. Регулятор напряжения, кроме того, предохраняет аккумуляторную батарею от перезаряда.

У ветроэлектрического агрегата ВД-3,5 применяется вибрационный реле-регулятор напряжения типа РРА-24ф (фиг. 30). В этом приборе совмещены реле обратного тока и регулятор напряжения. Реле-регулятор РРА-24ф поставляется заводом комплектно с генератором типа ГТ-4563А.

Электрическая схема и монтаж электрооборудования ветроэлектрического агрегата с диаметром ветроколеса 1,2 *м* показана на фиг. 31. Слева показана лицевая сторона щитка с расположением приборов и указано, как приключить аккумулятор и 3 шестивольтовых

лампочки по 10 *вт*. Рядом с лицевой стороной щитка показано, как сделать все необходимые соединения между отдельными элементами электрооборудования на задней стороне щитка. Справа — электрическая схема агрегата, где циф-



Фиг. 30. Вибрационный реле-регулятор напряжения типа РРА-24ф.

рами обозначены части электрооборудования, названия которых приведены в надписи под фиг. 31.

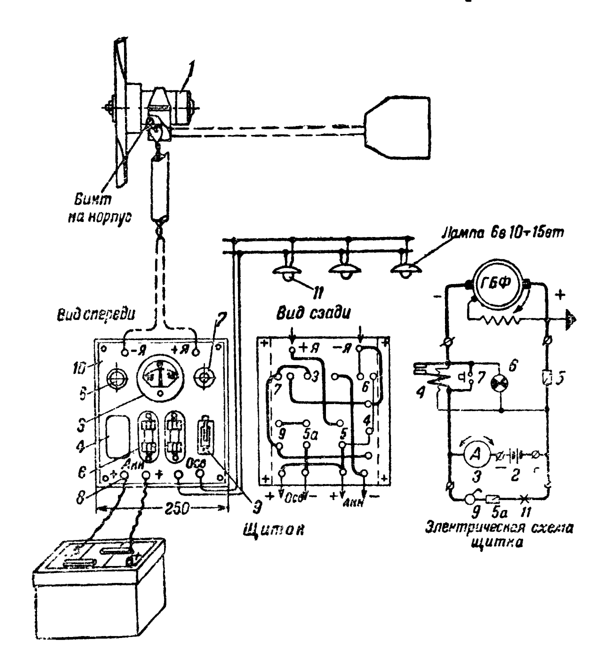
Электрическая схема и способ присоединения аккумуляторов к ветроэлектрическому агрегату Д-3,5 даны на фиг. 32. Слева показана лицевая сторона щитка с приключенными к нему проводами от генератора, аккумуляторов и ламп. Справа показана обратная сторона щитка, где указаны все соединения, которые необходимо сделать между приборами, установленными на щитке. Ниже дана принципиальная электрическая схема этого агрегата.

14. Краткие сведения по эксплоатации и уходу за ветроэлектрическими агрегатами. Уход за генератором. При эксплоатации ветроэлектрического агрегата необходимо следить за состоянием генератора.

Через каждые 300—500 час. работы необходимо смазывать шарикоподшипники. Для этого отвертывают заднюю и переднюю крышки, закладывают примерно до половины окружности сепаратора в подшипник специальную «соломасную» смазку № 17/19 ГСА или солидол жировой.

Смазку необходимо полностью сменять через 1 000—1 500 час. работы. Старая смазка должна быть смыта керосином.

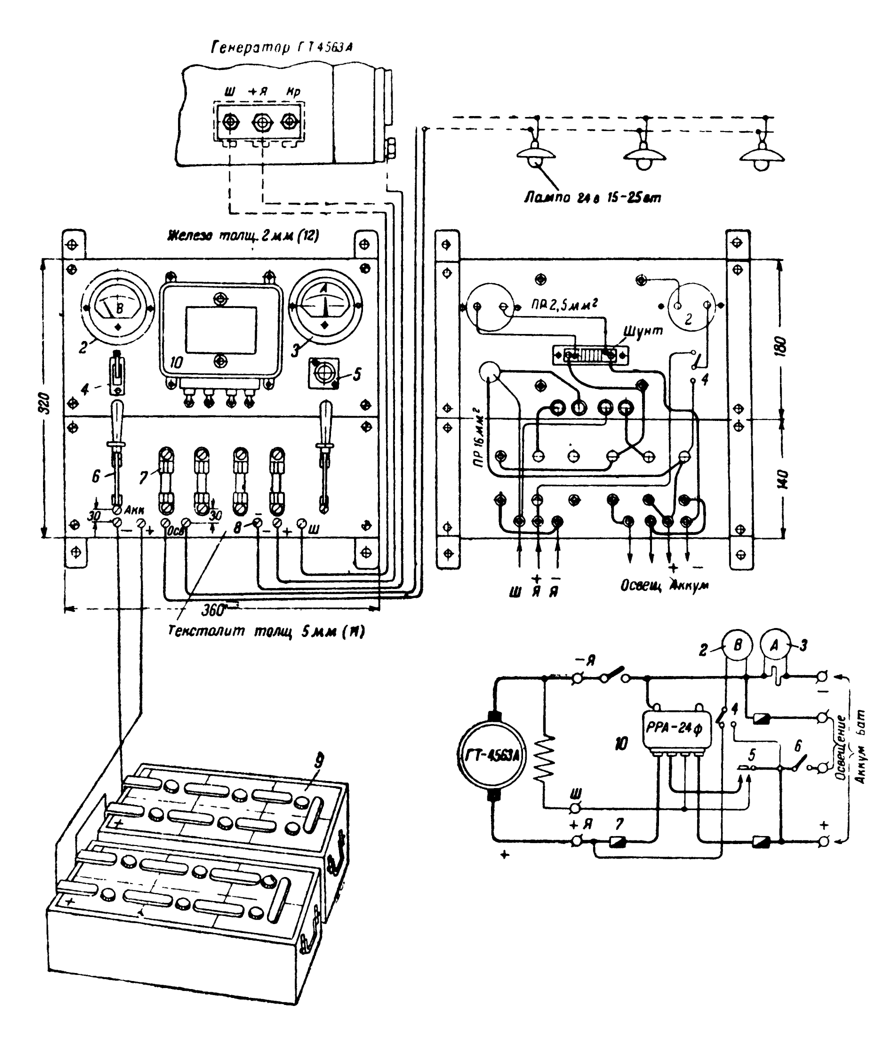
Не реже одного раза в месяц проверяют и подтягивают все контакты и болтовые соединения. Через 100—150 час.



Фиг. 31. Электрическая схема и монтаж электрооборудования ветроэлектрического агрегата Д-1,2.

1 — генератор ГБФ-4600 80 *вт*, 6 *в*; *2* — аккумулятор стартерный ЗСТ-80; *3* — амперметр автомобильный 15-0-15 *а*; *4* — реле обратного тока типа ЦБ; *5* — предохранитель Бозе; *6* — сигнальная лампа 12 *в*, 3 *вт*; *7* — пусковая кнопка; *8* — зажим (диаметр 5 *мм*), *9* — выключатель; *10* — текстолитовая панель (толщина 5 *мм*).

работы осматривают состояние коллектора и щеток. Если коллектор имеет шероховатую поверхность, а щетки плохо прилегают к коллектору и искрят, то коллектор нужно шлифовать, а щетки притереть стеклянной бумагой № 00. При шлифовке коллектора бумагу накладывают на деревянную колодку, вырезанную по окружности коллектора, рабочей стороной кверху. Колодку с бумагой прижимают к коллектору, который проворачивают вручную до исчезновения шероховатости (фиг. 33). Для притирки щеток бумагу накладывают на коллектор рабочей стороной к щеткам. Коллектор с при-

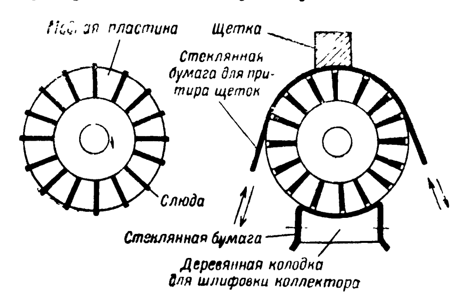


Фиг. 32. Электрическая схема и способ соединения аккумуляторов к ветроэлектрическому агрегату Д-3,5.

1 — генератор типа ГТ-4563А 24 *в*, 1 *квт*; *2* — вольтметр до 50 *в* типа МЛ; *3* — амперметр до 50 *а* типа МЛ; *4* — переключатель 6 *а*, 250 *в*; *5* — пусковая кнопка; *6* — рубильник однополюсный до 60 *а*; *7* — предохранитель Бозе; *8* — зажим латунный диаметр 7 *мм*; *9* — аккумулятор стартерный 6СТЭ-128; *10* — реле-регулятор типа РРА-24ф; *11* — панель текстолитовая 360×140×5 *мм*; *12* — панель железная 360×180×2 *мм*.

жатой к нему бумагой осторожно поворачивают вперед и назад, а в конце притирки только в одну сторону по ходу.

Если медь коллектора сработалась больше, чем слюда (фиг. 33 слева), то необходимо ножом или заточенным полотном пилы слюду срезать на глубину 0,5 до 0,8 *мм*.



Фиг. 33. Шлифовка коллектора.

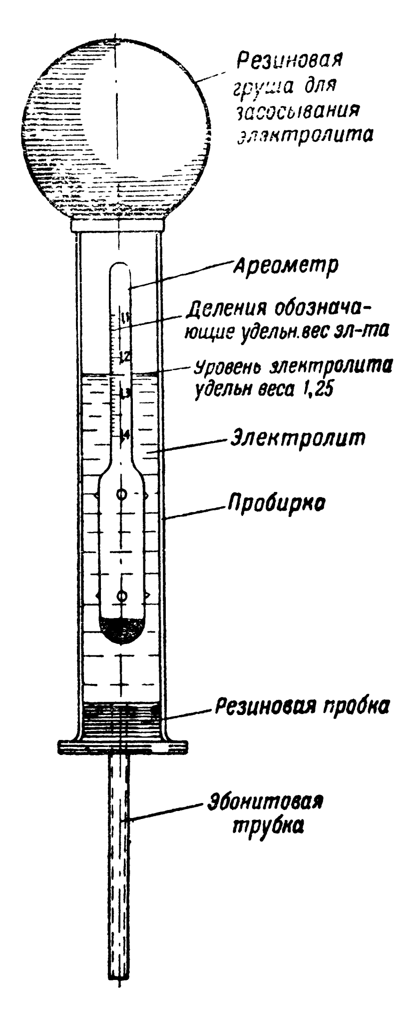
При появлении больших неровностей и бороздок под щетками якорь надо отдать в мастерскую для проточки коллектора на токарном станке.

Если коллектор сильно нагревается (не терпит приложенная к нему рука), необходимо генератор отдать в мастерскую для проверки.

Уход за аккумуляторной батареей. Помещение для аккумуляторной батареи должно быть расположено вблизи ветроэлектрического агрегата на расстоянии не дальше 20—25 *м*. Температура в этом помещении не должна опускаться ниже +5° С. Аккумуляторы необходимо помещать в специальный деревянный шкаф, имеющий вытяжную трубу наружу, для отвода газов, выделяющихся при зарядке. Стеллаж под аккумуляторы и внутренние стенки шкафа должны быть два раза пропитаны горячей олифой. В помещение, где стоят аккумуляторы, категорически запрещается входить с огнем, так как может произойти взрыв.

Панель электрического щитка должна быть установлена на стене в строго вертикальном положении, по отвесу. Электропроводку необходимо выполнять в соответствии с существующими нормами, утвержденными Главсельэлектро Министерства сельского хозяйства СССР.

Аккумуляторная батарея должна быть залита правильно составленным электролитом. Для стартерных аккумуляторов электролитом является раствор серной кислоты (ОСТ ВКС 5355 без содержания хлора, мышьяка, азота и солей метал-



Фиг. 34. Ареометр.

лов) в химически чистой дистиллированной воде. При составлении электролита надо лить кислоту в воду, а не наоборот. С кислотой следует обращаться весьма осторожно: не проливать ее на руки и одежду.

Для первой заливки новых стартерных аккумуляторов типа 6СТ-128 с сухими разряженными пластинами электролит должен иметь плотность или удельный вес 1,125 (16° Боме);

он составляется из 11,8 *л* воды и 1,4 *л* кислоты. Если аккумулятор имеет сухие заряженные пластины, то электролит для заливки должен иметь удельный вес 1,28—1,30. Один литр раствора составляется из 0,74 *л* воды и 0,26 *л* кислоты. У залитого аккумулятора электролит должен покрывать пластины на 1,5—2 *см* выше их уровня. Залитые аккумуляторы перед началом первой зарядки должны постоять 2—3 часа.

Необходимая плотность электролита стартерных аккумуляторов в процессе эксплоатации их по районам в зависимости от времени года и температура его замерзания приведены в табл. 8.

Зимой аккумуляторная батарея во избежание замерзания должна поддерживаться в состоянии, близком к заряду.

Плотность электролита или его удельный вес измеряются ареометром (фиг. 34).

Первый заряд или формовку аккумуляторов необходимо осуществить на специальной зарядной станции. Плохо отформованный аккумулятор не будет держать заряда и очень скоро придет в негодность. Формовку стартерных аккумуляторов производят следующим образом.

Открывают пробки аккумуляторной батареи и дают первый заряд током, равным примерно $^1/_{20}$ емкости аккумулятора.

Зарядный ток устанавливается реостатом, включенным последовательно с аккумуляторной батареей. Для аккумулятора 6СТ-128 зарядный ток должен быть 6—7 *а*.

Таблица 8

Состояние аккумулятора	Состояние электролита при разных условиях											
	Зимой						Летом					
	Крайний север		Центральный район		Юг		Крайний север		Центральный район		Юг	
	Плотность электролита	Температура замерзания в °C	Плотность электролита	Температура замерзания в °C	Плотность электролита	Температура замерзания в °C	Плотность электролита	Температура замерзания в °C	Плотность электролита	Температура замерзания в °C	Плотность электролита	Температура замерзания в °C
Полностью заряженный	1,31	—66	1,29	—74	1,27	—58	1,27	—58	1,27	—58	1,24	—42
Разряженный на 50%	1,25	— 50	1,23	—40	1,21	—28	1,21	—28	1,21	—28	1,17	—18
Полностью разряженный	1,19	—22	1,16	—16	1,14	—12	1,14	—12	1,14	—12	1,10	— 7

Первый заряд продолжается в течение 40—60 час. Как только аккумуляторы начнут кипеть, что сопровождается сильным выделением газов, а напряжение поднимается до 2,6—2,7 *в* на элемент, батарею отключают. После часового перерыва ее включают вновь на заряд. Такие часовые перерывы делают до тех пор, пока при включении все элементы батареи не закипят сразу. Это укажет на то, что аккумуляторная батарея заряжена полностью.

После окончания первого заряда батарее дают двухчасовой «отдых» и затем разряжают током, равным $^{1}/_{10}$ емкости аккумулятора, до напряжения 1,8 *в* на элемент. Разряженной батарее снова дают 2-часовой отдых, а затем заряжают нормальным током, доводя заряд до полного, т. е. до 2,6—2,7 *в*. После этого батарею можно ставить на рабочий режим.

При формовке батареи от ветродвигателя первый заряд следует производить только при наличии установившегося хорошего ветра, который может обеспечить необходимую непрерывность и продолжительность заряда.

Периодические перезаряды производят не реже одного раза в два месяца. При этом батарею следует доводить до полного заряда, разряжать током, равным $^{1}/_{10}$ емкости, до напряжения 1,8 *в* на элемент и снова давать полный заряд нормальным током. Без такой перезарядки батарея скоро начнет «сульфатироваться» и терять емкость.

Разряд батареи в процессе эксплоатации не следует допускать до разрядного тока более $^{1}/_{10}$ емкости аккумуляторов. Несоблюдение этого условия послужит причиной снижения отдаваемой емкости батареи. Нельзя при нормальной нагрузке разряжать батарею до напряжения ниже 1,75 *в* на элемент, а в зимнее время это особенно опасно и может погубить аккумуляторы. Глубокие разряды быстро разрушают аккумуляторные пластины. Нельзя также оставлять аккумуляторную батарею длительное время в разряженном состоянии, так как это приводит к потере емкости.

Первый пуск агрегата. Прежде чем подключить батарею для первого заряда, необходимо убедиться в исправной работе генератора, регулятора напряжения и реле обратного тока. Исправность их обнаруживается при пуске ветродвигателя в работу. В реле обратного тока должен послышаться щелчок, а вольтметр на щитке ветроэлектрического агрегата D-3,5 показать напряжение около 30 *в*. При дальнейшем увеличении оборотов ветроколеса напряжение не должно превышать 32 *в*. Когда ветродвигатель начнет останавливаться, должен снова послышаться щелчок в реле, а на-

пряжение — резко упасть. После этой проверки можно подключить батарею. При этом плюс батареи приключают к зажиму щитка с обозначением плюс и минус батареи — соответственно к зажимам минус. Вольтметр агрегата D-3,5 должен показать напряжение 20—22 *в*.

Без проверки действия приборов и правильности присоединения батареи нельзя пускать ветродвигатель для заряда, так как при наличии ошибок в соединении можно сжечь и генератор, и регулятор напряжения.

15. Уход за коммутационной аппаратурой. Регулятор напряжения РРА-24ф. Нормальная работа регулятора напряжения, устанавливаемого на зарядном щитке ветроэлектрического агрегата D-3,5, характеризуется следующими показателями. При работе с отключенной аккумуляторной батареей и нагрузкой, даже при очень сильном ветре, вольтметр должен показать напряжение в пределах от 30 до 32 *в*. Реле обратного тока должно включиться при напряжении 25—27 *в*, а отключиться с присоединенной аккумуляторной батареей при силе обратного тока по амперметру не более 5 *а*. Если будут замечены отступления от приведенных значений напряжения и силы тока, то реле-регулятор необходимо отрегулировать. Для этого лучше пригласить специалиста или отправить прибор в мастерскую.

Регулировка регулятора напряжения (фиг. 30 слева) производится при отключенных аккумуляторной батареи и нагрузке. Для осмотра снимают крышку регулятора. Если вольтметр показывает напряжение больше 32 *в*, то необходимо ослабить натяжение пружины *7*, для чего отворачивают немного стопорный винт *9* и поворачивают отверткой по часовой стрелке головку *10* планки эксцентрика. Касание в этот момент отверткой корпуса регулятора недопустимо во избежание короткого замыкания. Если же напряжение ниже 30 *в*, то, наоборот, пружину следует немного натянуть. Когда требуемое напряжение будет установлено, необходимо винт *9* затянуть. Зазор между якорем и сердечником электромагнита при этом должен быть равен 1,8—2,4 *мм*. Этот зазор регулируется винтом *6*.

Реле обратного тока (фиг. 30 справа) регулируется на напряжение включения и ток отключения. Первое производится при отключенной аккумуляторной батарее. Подгибанием упорной рамки верхних контактов прежде всего устанавливают зазор между якорем и сердечником электромагнита, равным 2,5 *мм*. Затем, отпуская винт и поворачивая эксцентрик, изменяют натяжение пружины. Если напряже-

ние включения агрегата D-3,5 меньше 25 *в*, то пружину следует подтянуть, а если больше 27, то, наоборот, ослабить. После отрегулирования напряжения включения подключают аккумуляторную батарею и проверяют величину обратного тока при включенном реле.

Если при снижении числа оборотов ветродвигателя отключение реле происходит при обратной силе тока больше 5 *а*, то необходимо отвернуть немного винты, крепящие планку нижних контактов, и медленно передвигать ее вверх до тех пор, пока сила обратного тока отключения не станет равной или меньше 5 *а*. При этом зазор между подвижным и неподвижным контактами не должен быть меньше 1 *мм*.

Реле обратного тока типа ЦБ, нормально отрегулированное, должно подключать генератор при напряжении 7 *в* и отключать его при обратном токе 3—4 *а*. Если включение происходит при напряжении ниже 7 *в*, то необходимо пружину (фиг. 29) подтянуть путем отгибания упора *а* книзу; при напряжении включения более 8 *в* упор отгибают кверху. Зазор между контактами должен быть не меньше 1 *мм*, он регулируется подгибанием упора *б*.

Периодический осмотр регулятора и реле обратного тока увеличивает их срок службы.

Контакты должны быть чистыми и не искрить. При обнаружении нагара на контактах их необходимо шлифовать бархатным напильником или стеклянной шкуркой № 00. Приборы необходимо содержать в чистоте и своевременно удалять грязь и пыль. Это следует делать при отключенном токе и весьма осторожно, чтобы не повредить механическую часть и изоляцию приборов. При обнаружении перегрева до такой степени, что не может терпеть рука, или при появлении дыма или запаха гари необходимо сейчас же остановить ветродвигатель, отключить аккумуляторную батарею и обнаружить причину перегрева. Если эта причина не будет установлена, то необходимо прибор отправить в мастерскую для ремонта.

Плавкие вставки предохранителей следует заменять только соответствующими им по силе тока. Нельзя ставить на их место куски проволоки или гвозди.

16. Эксплоатационные показатели ветроэлектрических агрегатов. Чтобы получить от ветроэлектрического агрегата возможно больше электроэнергии, необходимо обеспечить ему возможность работать все время, когда есть ветер. При этом условии ветроэлектрический агрегат может работать в течение года приблизительно столько часов, сколько указано в табл. 9 слева. В этой же таблице справа приведено количе-

Техническая характеристика ветродвигателей, выпускаемых в СССР для различного назначения

Тип ветродвигателя	Мощность на валу ветроколеса при скорости ветра 8 *м/сек л. с.*	Диаметр ветроколеса в *м*	Ометаемая поверхность в $м^2$	Число лопастей ветроколеса	Быстроходность ветроколеса Z_n	Обороты ветроколеса в мин.	Вес ветродвигателя без башни в *кг*	Вес, отнесенный к 1 $м^2$ ометаемой поверхности в $кг/м^2$	Общий вес ветродвигателя с башней в *кг*	Назначение ветродвигателя
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВИСХОМ Д-3,5	1,2	3,5	9,6	2	7,0	306	160	17,7	Деревянн. столб	Электрификация
ВИМЭ ТВ-3	1,0	3,0	7,06	18	1,2	67	258	36,4	383	Водоснабжение
ТВ-5	2,5	5	19,6	24	1,2	40	1 291	66	2489	»
ТВ-8	6,5	8	50,3	18	1,2	25	1 950	38,8	385	Помол и комплекс работ
УНДИМ Д-10	10	10	78,5	2	5,0	78	1 800	23,0	3 300	Помол
ВИМЭ Д-12	14,5	12	113	3	4,5	60	2 755	24,3	4 435	Орошение Электрификация и комплекс работ
ВИМЭ ГУСМП Д-18	38	18	254	3	4,5	42	5 500	21,6	12 500	То же
ЦАГИ Д-18 с инерционным аккумулятором	38	18	254	3	6,0	56	5 000	19,6	12 500	То же

БОЛЕЕ ПОДРОБНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕТРОДВИГАТЕЛЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДАНЫ В КНИГАХ:

1. **ФАТЕЕВ Е. М. „Ветродвигатели в сельском хозяйстве", где** даются краткие сведения о конструкциях ветродвигателей и их применении. Сельхозгиз. 1948 г. Цена 3 руб. 75 коп.

2. **ФАТЕЕВ Е. М. „Ветродвигатели и ветроустановки".** Теория, расчет ветродвигателей и эксплоатация. Рекомендована Министерством высшего образования в качестве учебного пособия для факультетов механизации сельского хозяйства. Сельхозгиз. 1948 г. Цена 10 руб. 85 коп.

Эти книги можно получить почтой по адресу: Москва, Моховая 17, МОГИЗ, магазин № 2. Книги высылаются наложенным платежом.

ПОДГОТАВЛИВАЕТСЯ К ПЕЧАТИ:

3. **ПОГОРЖЕЛЬСКИЙ Н. В., КАЖИНСКИЙ Б. Б. и РОЩИН К. Л. „Дерево-металлические ветродвигатели".** Госэнергоиздат.

Консультацию по вопросам, связанным с изготовлением самодельных ветродвигателей, можно получить по адресу: Москва, Станция Плющево, Ленинской ж. д. Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства. Лаборатория ветродвигателей.

Цена 2 р.